

Kapcsolat a talajok plaszticitása és agyagásvány tartalma között

KOVÁCS GYÖRGY

Vizgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest

A múltban a talajmechanika vizsgálati módszerei kialakításának első időszakában a talajt többnyire különböző szemcsék halmazának tekintették és elhanyagolták a szemcsék ásványi, kémiai tulajdonságait. Ma már köztudott, hogy számos fontos talajfizikai jellemzőt (pl. vízáteresztőképeség, duzzadás, zsugorodás) befolyásol a halmaz agyagásvány-tartalma és ezeknek a kb. 2μ -nál kisebb szemcséknek a viselkedése. A kolloid talajrészecskék ásványtani és kémiai jellemzése ezért ma a talajmechanikának — különösen pedig a talaj és víz kölcsönhatásával foglalkozó, vízepítési és talajtani kérdésekhez kapcsolódó talajfizikai vizsgálatoknak — minden bizonnyal a legfontosabb feladata.

Kétségtelen, hogy ezeknek a talajalkotó ásványoknak megismerése, tanulmányozása sokkal bonyolultabb, mint a klasszikusnak tekinthető talajfizikai adatok meghatározása. Nincsenek gyors laboratóriumi, vagy terep módszerek az agyagásványok mennyiségének, vagy minőségének mérésére. A vizsgálat elektronmikroszkóp, röntgen, vagy DTA analízis használatát teszi szükségessé. Ez indokolja azt a folytonosan tapasztalható törekvést, hogy eljárást találjunk, amellyel egyszerű módon meghatározható adatokból közelítően következtetni lehet az agyagásványok mennyiségére, típusára, és kémiai viselkedésére. [A tanulmányban a minta agyagtartalma ($S_{2\mu}$) definíciószerűen a 2μ -nál kisebb átmérőjű szemcsék súly-%-ban kifejezett mennyisége a száraz talajra vonatkoztatva, amint az a talajmechanikai irodalomban általában használt.]

Az agyagtartalom közelítő meghatározásához már az eddigi tanulmányok is a talaj plaszticitását igyekeztek felhasználni. Vitathatatlan ugyanis, hogy a talaj plasztikus viselkedése kapcsolatban van az agyagtartalommal. A két plaszticitás-jellemző (a plasztikus határ w_p és a folyási határ w_F) könnyen meghatározható, a mérési módszer világsszerűen ismert, alkalmazott, sőt szabványosított. Így ha összefüggést találunk ezek az adatok és az agyagtartalom között, minden további vizsgálat nélkül közelítő tájékoztatást kapunk az agyagásványok mennyiségéről, esetleg minőségéről is.

Tanulmányunk célja az, hogy áttekintsük az említett kapcsolat jellegével foglalkozó irodalmi közléseket elsősorban azért, hogy összegyűjtsük ezekből az összetartozó értékpárokat megadó mérési adatokat. Kiegészítve ezeket saját mérésekkel és megfelelően csoportosítva a megfigyeléseket, javaslatot teszünk olyan eljárásra, amellyel a minta 2μ -os és annál kisebb szemcséinek súlyszázalékát a jólismert plaszticitás-adatokból a gyakorlati célok számára kielégítő pontossággal becsülhetjük. Ezt követően a módszer ellenőrzését

végezzük el. Ennek során előbb ismert talajfizikai kapcsolattal összevetve mutatjuk be, hogy a CASAGRANDE-féle A vonal értelmezése tulajdonképpen csak az új összefüggés ismeretében adható meg, és ezért az A vonal léte igazolja a javasolt módszer alkalmazását. Végül az eredmények szivárgási vizsgálatokban történő alkalmazásával foglalkozunk, ami lehetővé teszi azt is, hogy a szivárgásmérések eredményeit is felhasználhassuk igazolására.

Korábbi vizsgálatok

Az irodalomban viszonylag nagyszámban találunk olyan mérési adatokat, amelyek megadják ugyanannak a mintának agyagtartalmát és plaszticitásadatait. Ezeket, saját méréseink eredményeivel kiegészítve az $1/a-1/d$ táblázatokban foglaltuk össze. A különböző módszerekkel kapott értékeket a 2μ átmérőhöz tartozó ásványi részecskék súlysúlyszázalékának meghatározási módjaitól függően két nagy csoportra oszthatjuk.

Az első csoport azokat az adatpárokat tartalmazza, amelyekben az agyag mennyiség meghatározása általában az iszapfrakció felső határánál különböző módszerrel leválasztott mintából ásványtani vizsgálattal (elektronmikroszkóppal, röntgensugárral, vagy DTA analízissel) történt ($1/a$ táblázat).

A második csoportban ugyanezt az adatot ülepítéssel határoztuk meg. Ismert, hogy ezt a vizsgálatot a diszperzitás foka nagy mértékben zavarja, amit vegyszerek adagolásával igyekeznek ellensúlyozni. A különböző laboratóriumokban sokféle peptizáló szert alkalmaznak, ami az összegyűjtött adatok inhomogenitását növeli ($1/b-1/d$ táblázat).

Bár a koaguláció hatása jól ismert, a továbbiak megértése érdekében rövid összefoglalását adjuk annak, és az azzal ellentétes diszpergálásnak, valamint ezek elektrokémiai értelmezésének.

Az agyagásványok egyrésze egyedi szemcséként van jelen a halmazban, nem kötődve más szemcséhez, mások viszont aggregálódnak, a köztük levő kötőerők hatására két, három, vagy több szemcséből összekötött csoport alakul ki. A kötőerő az ásványok elektrosztatikus töltésének függvénye. Működnek vonzó és taszító hatások. Ezek, valamint eredőjük a szemcsék egymástól való távolságával változnak (1. ábra) (KUN [10]). Befolyásolja az erők nagyságát a szemcsék ásványtani és kémiai jellege is.

Az egyedülálló szemcsének a teljes felülete aktív, a szemcse és az azt körülvevő folyadék (vízfilm) közötti molekuláris erő ezzel a teljes felülettel arányos. Ha az aggregátumban a részecskék kötése laza, az aktív felület a kötődés következtében csak jelentéktelen mértékben csökken, mert a víz behatol az aggregátumok belsejébe is, így kapcsolatban marad csaknem a teljes felülettel. Ilyen kötés esetében változtatva a szuszpenzió kémiai jellegét, csökkenteni tudjuk a csoportokban levő szemcsék közötti kötőerőt, és így elérhetjük azok szétesését, az agyagásványok újra egyedi szemcsékké válnak a szuszpenzióban (peptizáció). Ennek a folyamatnak ellentettjeként, a kötőerők növelésével az eredeti állapotban különálló szemcsék vagy kis csoportok kapcsolódását idézhetjük elő (koaguláció).

Az elektrosztatikus vonzás és taszítás egymáshoz viszonyított értékétől függően eredőjük a szemcsétől távolabb vagy taszítás, vagy kismértékű vonzás alakjában jelentkezik. Azonban az első esetben helyi szélsőérték alakul ki a szemcse közelében és ettől a szemcse felé haladva az eredő előjelet vált, amint

1/a táblázat

Ásványtani vizsgálattal mért agyagtartalom és a plaszticitás összetartozó mérési adatai

(1) Az anyag megnevezése	(2) Agyagtartalom és az agyag- ásványok jellege					(3) Plaszticitási adatok		(4) Irodalmi hivatkozás	
	S _p %	és eloszlása %-ban				w _F	w _P		
		M	I	K	O				
Kaolinit HR	88	—	—	95	5	64	33	CRAFT [3]	
Kaolinit Ub E	84	—	—	95	5	59	30		
Montmorillonit I.	93	85	—	10	5	189	53		
Illit-montmorillonit B.	88	50*	—	45	5	103	39		
Illit-montmorillonit S.	92	20*	20	50	10	70	30		
Illit F	82	—	90	—	10	63	55		
Halloysit N	75	—	—	80**	20	55	32		
Természetes Ca bentonit	76	77	—	5	18	114	34	SZILVÁGYI [15]	
Illit	40	7	93	—	—	94	35		
Kaolin	25	—	5	91	4	48	30		
Az előző három keverékei	50	38	2	48	12	43	25		
„	63	58	1	26	16	26	23		
„	63	58	1	26	16	57	21		
„	63	58	1	26	16	60	21		
„	49	25	70	1	4	74	29		
„	58	42	46	2	10	74	26		
„	67	60	23	3	14	61	29		
„	67	60	23	3	14	67	27		
Agyag	50	26	32	26	16	82	30		
„	50	26	32	26	16	49	27		
„	50	28	30	12	30	47	29		
Természetes bentonit	87	44	—	17	39	60	26		DUMBLETON és WEST [5]
Illit	70	—	95	—	5	93	35		
Kaolin	35	—	—	82	18	37	23		
Az előző három keverékei	46	11	—	65	24	51	22		
„	61	22	—	50	28	60	26		
„	74	33	—	33	34	72	30		
„	43	—	24	61	15	56	24		
„	53	—	46	44	10	79	32		
„	61	—	71	20	9	82	35		
„	74	11	71	4	14	84	33		
„	78	22	48	9	21	80	32		
„	83	33	23	13	31	78	31		
Ca bentonit	100	95	—	—	5	158	58	DUMBLETON és WEST [5]	
Annak keveréke kvarchomokkal	75	95	—	—	5	115	40		
„	50	95	—	—	5	82	28		
„	25	95	—	—	5	50	17		
Kaolin	96	—	—	95	5	82	42		
Annak keveréke kvarchomokkal	72	—	—	95	5	64	31		
„	48	—	—	95	5	44	22		
„	24	—	—	95	5	23	14		
Márga	50	—	—	—	100	30	15		
„	52	—	—	—	100	34	20		
„	54	—	—	—	100	35	18		
„	58	—	—	—	100	33	20		
„	65	—	—	—	100	38	20		
„	69	—	—	—	100	40	23		
„	70	—	—	—	100	49	25		

1/a táblázat folytatása

(1) Az anyag megnevezése	(2) Agyagtartalom és az agyag- ásványok jellege					(3) Plaszticitási adatok %		(4) Irodalmi hivatkozás
	SiO ₂ %	és eloszlása %ban				w _p	w _p	
		M	I	K	O			
Márga	77	—	—	—	100	48	29	DUMBLETON és WEST [5]
"	81	—	—	—	100	56	34	
"	87	—	—	—	100	45	27	
"	87	—	—	—	100	47	28	
"	88	—	—	—	100	59	34	
"	94	—	—	—	100	66	40	
DWEPEK Kaolin	60	—	—	95	5	29	25	SCHMERT- MAN [13]
Agyag	20	10	10	15	65	37	28	
Keverék	13	10	—	—	90	30	16	
Agyag	50	—	45	—	55	38	19	
Kaolin	60	—	—	95	5	52	31	
Agyag	85	85	5	—	10	150	45	
Bentonit	41	*	—	—	—	92	18	ARCAN [1]
Na bentonit	63	*	—	—	—	391	31	
Ca bentonit	52	*	—	—	—	122	28	
Kaolin	56	—	—	*	—	78	32	
Agyag	58	—	*	—	—	78	19	
Aktivált Na bentonit	85	94	—	6	—	398	34	Saját mérés
Annak keveréke								
kvarchomokkal	71	94	—	6	—	310	32	
"	56	94	—	6	—	234	26	
"	42	94	—	6	—	179	23	
"	34	94	—	6	—	143	14	
"	28	94	—	6	—	130	14	
"	21	94	—	6	—	94	14	
"	10	94	—	6	—	46	15	
"	72	95	—	5	—	87	35	
Ca bentonit								
Annak keveréke								
kvarchomokkal	48	95	—	5	—	57	21	
"	36	95	—	5	—	46	19	
"	29	95	—	5	—	49	16	
"	18	95	—	5	—	32	13	
"	7	95	—	5	—	—	—	
Agyag (Oligocén)	35	—	71	—	29	46	22	
Annak keveréke								
kvarchomokkal	29	—	71	—	29	38	16	
"	23	—	71	—	29	32	15	
"	17	—	71	—	29	26	13	
"	20	—	75	—	25	33	19	
Oligocén iszap								
Annak keveréke								
kvarchomokkal	17	—	75	—	25	28	16	
"	13	—	75	—	25	25	15	
"	10	—	75	—	25	21	14	
"	35	43	43	—	14	30	22	
Iszap (Alluvium)	17	50	50	—	—	28	20	
"	50	50	30	20	—	44	24	
Agyag (Alluvium)								
Annak keveréke								
kvarchomokkal	41	50	30	20	—	42	21	
"	33	50	30	20	—	31	17	
"	25	50	30	20	—	26	16	
"	0	—	—	—	—	—	—	

* = Illit-montmorillonit; ** = Halloysit; M = Montmorillonit; I = Illit; K = Kaolinit;
 0 = nem meghatározva, vagy kevert agyagásvány.

1/b táblázat

Ülepítéssel mért agyagtartalom és a plaszticitás összetartozó mérési adatai

(1) Az anyag megnevezése	(2) Agyagtartalom és az agyag- ásvány jellege			(3) A peptizálás módja	(4) Plaszticitási adatok %		(5) Irodalmi hivatkozás
	S ₂ μ%		agyag- ásvány		w _F	w _P	
	pepti- zállás nélkül	peptizá- lással					
Agyag	—	52	O	Na hexa- metafoszfát	75	30	Lo [11]
„	—	30	O	„	62	26	
Na bentonit	—	87	M	„	530	120	
Agyag	—	50	O	„	44	21	
„	—	45	O	„	80	30	
Természetes Ca bentonit	10	20	M	forralva Na ₂ CO ₃ -al	114	34	SZILVÁGYI [15]
Illit	2	14	I	Na ₂ SiO ₃	48	30	
Kaolin	5	23	K	forralva Na ₂ CO ₃ -al	26	23	
Az előző három keveréke	1	17	K	„	42—45	20—21	
„	2	14	O	„	57—60	21—21	
„	0	15	M	„	75—74	29—26	
„	0	21	I	„	61	29	
„	5	24	O	„	67	27	
„	0	29	M	„	82	30	
Agyag	4	6	O	„	51	24	
„	16	18	O	„	56	27	
„	0	7	O	„	49	27	
„	7	12	O	„	47	29	
Természetes bentonit	13	60	M	„	80	26	
Az előző minta kationesere után	—	60	M	„	80	26	
„	—	60	M	Na ₂ CO ₃	116	27	
„	—	42	M	(NH ₄) ₂ CO ₃	88	27	
„	—	28	M	CaCl ₂	64	22	
Illit	16	27	I	Na ₂ CO ₃	93	35	
Az előző minta kationesere után	—	20	I	Na ₂ CO ₃	70	36	
„	—	16	I	(NH ₄) ₂ CO ₃	70	40	
„	—	18	I	CaCl ₂	62	29	
Kaolin	4	18	K	Na ₂ CO ₃	37	23	
Iszapos agyag	—	42	O	Na hexa- metafoszfát	58	36	THOMPSON [17]
„	—	52	O	„	53	24	
Iszapos talaj	—	39	O	„	59	20	
Agyag	—	45	I	„	49	22	
Iszapos talaj	—	19	O	„	33	26	
„	—	38	M	„	54	22	
„	—	30	O	„	34	19	
„	—	34	M	„	53	22	
„	—	20	M	„	32	20	
Iszapos agyagtalaj	—	30	O	„	50	29	
„	—	34	M	„	54	24	
Iszapos talaj	—	29	O	„	46	28	
„	—	52	O	„	53	24	
„	—	19	M	„	41	30	

1/b táblázat folytatása

1/5 talajai jelölés

(1) Az anyag megnevezése	(2) Agyagtartalom és az agyag- ásvány jellege			(3) A peptizálás módja	(4) Plaszticitási adatok %		(5) Irodalmi hivatkozás
	S ₂ μ%		agyag- ásvány		w _F	w _P	
	pepti- zálás nélkül	peptizá- lással					
Iszapos talaj	—	32	M	Na hexa- metafoszfát	50	21	THOMPSON [17]
"	—	21	M		32	22	
Agyag	—	26	O		36	14	
"	—	25	O		33	18	
Iszapos talaj	—	16	O		26	24	
"	—	25	O		41	24	
"	—	29	M		44	24	
"	—	31	O		46	17	
"	—	27	O		39	18	
Agyag	—	18	M		34	15	
Talaj	—	17	O		25	13	
B-szint	—	29	O		37	18	
Iszapos talaj	—	14	I		26	14	
"	—	18	I		25	17	
"	—	11	O		26	—	
"	—	26	O		28	16	
"	—	23	O		29	14	
Meszes lösz	—	7	M		28	26	
Lösz	—	11	M		30	26	
Iszapos talaj	—	29	O		36	20	
"	—	40	M		54	29	
Iszapos agyagtalaj	—	36	O		51	27	
Iszapos talaj	—	31	O		63	29	
"	—	39	M		63	29	
Agyag	—	27	M	Na hexa- metafoszfát	41	19	DUMBLETON és WEST [5]
"	—	34	M		49	22	
"	—	64	M		81	47	
"	—	69	M		94	52	
"	—	71	M		92	51	
"	—	76	M		100	57	
Talaj palán	—	72	M		98	44	
"	—	83	M		118	47	
Talaj (alluviális)	—	74	M		122	39	
Talaj alapkőzeten	—	67	M		116	42	
"	—	52	M		64	30	
"	—	58	M		68	35	
Agyag	—	41	K		52	27	
"	—	63	K		77	35	
"	—	73	K		94	38	
"	—	81	K		80	39**	
"	—	83	K		86	42**	
"	—	83	K		89	45**	
"	—	85	K		78	38**	
"	—	87	K		87	48**	
Kaolinit és Goethite	—	30	K		90	35	
"	—	47	K		62	26	
"	—	52	K		97	38	
"	—	69	K		106	40	
"	—	51	K		62	28	
Kaolinit	—	39	K		50	21	
Kaolinit bauxittal	—	67	K		88	39	

1/b táblázat folytatása

(1) Az anyag megnevezése	(2) Agyagtartalom és az agyag- ásvány jellege			(3) A peptizálás módja	(4) Plaszticitási adatok %		(5) Irodalmi hivatkozás
	S _μ %		agyag- ásvány		w _F	w _P	
	pepti- zálás nélkül	pepti- zálással					
Kaolinit és Goethite	—	38	K	„	38	13	DUMBLETON és WEST [5]
Bauxit	—	54	O	„	60	34	
Halloysit	—	80	K*	„	106	70	
„	—	89	K*	„	103	66	
„	—	41	K*	„	69	43	
„	—	20	K*	„	66	46	
„	—	79	K*	„	104	70	
„	—	18	K*	„	67	50	
„	—	23	O	„	30	15	
Keuper márga	—	24	O	„	34	20	
„	—	28	O	„	35	18	
„	—	36	O	„	33	20	
„	—	27	O	„	38	20	
„	—	29	O	„	40	23	
„	—	32	O	„	49	25	
„	—	12	O	„	48	29	
„	—	24	O	„	56	34	
„	—	22	O	„	45	27	
„	—	30	O	„	47	28	
„	—	36	O	„	59	34	
„	—	26	O	„	66	40	
Ca bentonit	10	78	M	1 n NaOH-al	103	57	DARAB et al. [4]
Annak keveréke kvarchomokkal	10	60	M	„	83	50	
„	8	43	M	„	61	36	
„	7	38	M	„	55	28	
„	5	32	M	„	47	24	
„	3	11	M	„	32	21	
„	49	61	I	„	87	43	
Illit	49	61	I	„	87	43	
Annak keveréke kvarchomokkal	40	44	I	„	76	32	
„	28	33	I	„	58	24	
„	24	28	I	„	50	21	
„	18	23	I	„	42	22	
„	9	10	I	„	29	16	
„	0	18	K	„	33	22	
Kaolinit	0	14	K	„	28	17	
Annak keveréke kvarchomokkal	0	11	K	„	22	14	
„	0	10	K	„	19	13	
„	0	8	K	„	17	11	
„	0	4	K	„	11	11	
Kaolinit	—	48	K	Na hexa- metafoszfát	45	35	SEED et al. [14]
Illit	—	35	I	„	48	24	
Na bentonit	—	96	M	„	522	48	
Na bentonit	78	80	M	Na ₂ SiO ₃	389	34	Saját mérés
Ca bentonit	11	29	M	„	87	35	
Oligocén agyag	0	11	I	„	46	22	
Oligocén iszap	0	7	I	„	33	19	

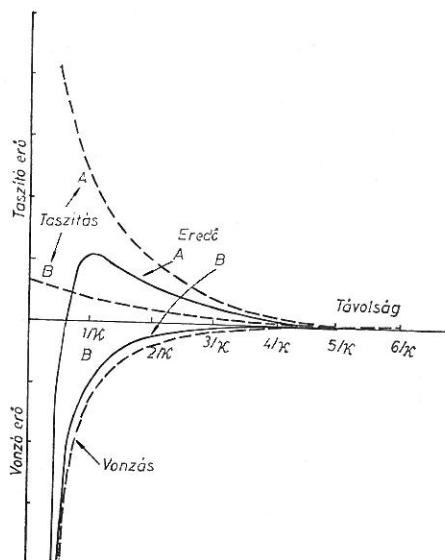
1/b táblázat folytatása

(1) Az anyag megnevezése	(2) Agyagtartalom és az agyag- ásvány jellege			(3) A peptizálás módja	(4) Plaszticitási adatok %		(5) Irodalmi hivatkozás
	S _p %		agyag- ásvány		w _F	w _P	
	pepti- zálás nélkül	pepti- zálással					
Alluviális iszap	3	13	O	Na ₂ SiO ₃	30	22	Saját mérés
„	0	17	O	„	28	20	
Alluviális agyag	8	12	M	„	44	24	
Kvachomok	0	0					

* = halloysit; ** = A folyási határ növekedett, ha a mintát az előkészítés után pihentették. M = montmorillonit. I = illit, K = kaolinit, O = nem meghatározott vagy kevert agyagásvány.

azt az 1. ábra mutatja. Az elektromos kettősrétegen belül minden esetben nagy vonzásban nyilvánul meg a felületi erők eredője. Ha a szemcsék ezen a határon belül megközelítik egymást a kötődés olyan erős közöttük, hogy azt peptizálással már nem tudjuk felbontani. Ilyen esetben ezért „irreverzibilis kötésről” beszélünk. A víz sem hatol be a szorosan kapcsolódó szemcsék közé, azok érintkező felületei tehát nem aktívak. Az irreverzibilisen kötött aggregátumok úgy viselkednek, mint egyetlen homokszemcse, amelynek az átmérője az egymáshoz kapcsolt szemcscsoport átmérőjével azonos.

Amikor ülepítéssel határozzuk meg az agyag-tartalom értékét ezeket a szorosan kötött aggregátumokat minden esetben nagy szilárd szemcsének



1. ábra

A folyadékban a szilárd fal hatásaként érvényesülő elektrosztatikai taszító és vonzó erők eloszlása a faltól mért távolság függvényében. $1/\kappa$ = a kettős réteg vastagsága.

1/c táblázat

Agyagos pannon tengeri üledéken, mint anyakőzetben kialakult barna erdőtalaj
 ülepítéssel mért agyagtartalma és plaszticitási adatai
 (nem meghatározott vagy kevert agyagásványok)

(1) Agyagtartalom $S_{\mu}\%$	(2) Plaszticitási adatok %		(1) Agyagtartalom $S_{\mu}\%$	(2) Plaszticitási adatok %		(1) Agyagtartalom $S_{\mu}\%$	(2) Plaszticitási adatok %	
	WF	WP		WF	WP		WF	WP
12	34	21	14	46	18	11	37	19
12	36	19	12	48	20	10	34	16
10	39	22	13	41	19	12	44	26
15	55	23	10	34	20	12	40	23
17	89	27	11	39	19	18	44	23
20	86	26	22	48	24	23	42	24
10	42	20	24	68	27	17	55	26
15	50	25	21	61	27	15	73	34
13	38	20	11	37	25	28	73	33
37	73	38	18	55	26	13	24	15
20	44	28	16	48	20	18	37	19
15	36	22	6	42	29	10	48	21
13	50	25	13	43	24	14	50	25
12	56	23	10	50	24	15	82	39
12	48	23	8	40	24	7	70	32
11	46	22	15	55	24	9	48	23
12	45	21	18	51	21	13	49	27
13	41	21	15	40	24	7	46	26
10	50	25	20	57	23	10	45	20
12	48	22	25	52	23	12	42	23
13	38	21	19	75	35	14	48	20
11	46	24	5	46	21	17	56	31
17	43	24	27	63	26	10	51	29
12	47	26	18	55	28	14	43	23
11	47	23	34	71	26	15	50	24
9	48	24	11	38	24	14	50	24
14	45	24	20	48	22	8	34	22
28	70	28	12	43	20	11	32	18
20	65	29	16	47	18	6	25	18
19	71	34	18	56	22	7	27	20
23	51	24	30	65	20	14	47	21
16	67	33	9	34	18	6	27	17
14	52	27	13	33	18	5	26	16
14	46	24	7	53	19	10	46	20
12	45	25	6	43	18	10	41	20
20	57	21	6	32	13	9	41	19
13	40	23	7	30	16	8	38	18
19	44	20	5	33	20	11	43	19
22	54	29	11	48	23	8	42	20
15	45	23	10	43	22	8	38	20
23	60	23	8	38	22	12	37	19
15	50	20	10	55	23	10	33	18
18	52	26	6	32	15	14	32	21
16	51	26	10	42	20	5	38	21
19	58	24	9	60	22	27	57	23
15	45	24	9	52	20	17	45	31
						8	37	26

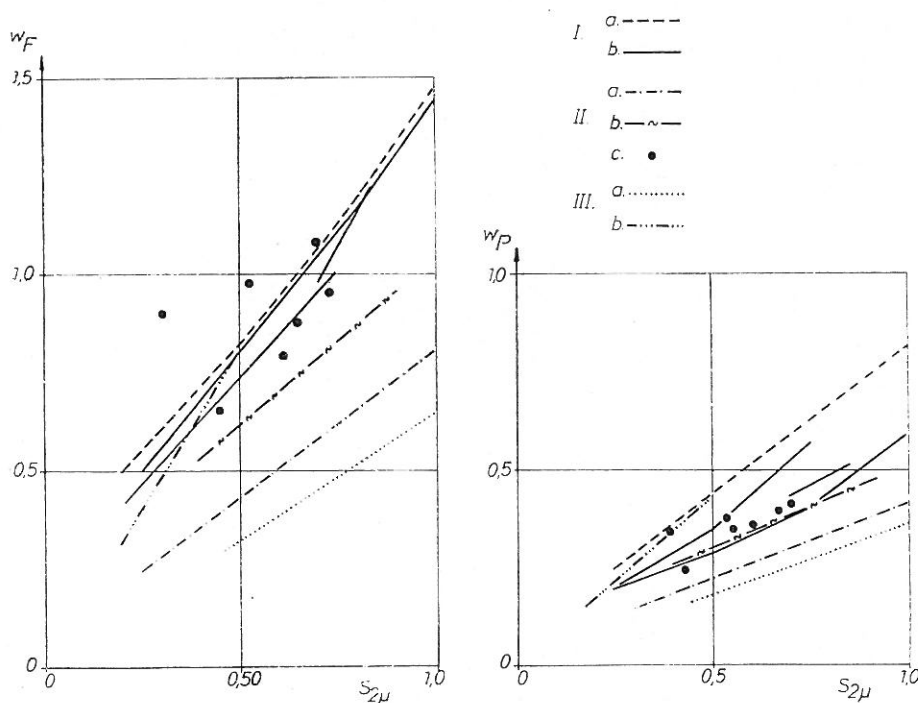
1/d táblázat

Átmosott alföldi löszön, mint anyakőzetén kialakult alluvialis öntéstalaj
 ülepítéssel mért agyagtartalma és plaszticitási adatai
 (Na_2CO_3 -al peptizálva; nem meghatározott, vagy kevert agyagúsványok)

(1) Agyagtartalom		(2) Plaszticitási adatok %		(1) Agyagtartalom		(2) Plaszticitási adatok %		(1) Agyagtartalom		(2) Plaszticitási adatok %	
$S_{2\mu}\%$				$S_{2\mu}\%$				$S_{2\mu}\%$			
pepti- zálás nélkül	pepti- zálással	WF	WP	pepti- zálás nélkül	pepti- zálással	WF	WP	pepti- zálás nélkül	pepti- zálással	WF	WP
24	32	57	26	16	33	60	26	6	20	40	19
12	31	59	25	6	11	29	19	6	28	48	24
7	29	58	24	21	31	60	23	1	13	34	22
4	23	43	23	12	17	38	20	6	29	58	25
2	16	31	19	17	32	62	30	36	50	92	36
4	20	40	22	24	35	58	28	7	32	56	23
5	35	62	28	10	17	31	24	4	23	41	20
5	23	39	22	17	18	37	19	6	10	40	20
3	12	32	22	14	28	45	22	10	26	47	22
8	37	73	30	6	28	48	24	9	14	30	22
5	19	37	21	16	27	49	24	20	21	49	25
5	18	42	20	28	39	67	28	13	27	47	20
5	31	67	26	11	12	35	24	11	27	58	24
3	18	40	22	18	34	60	22	31	50	83	30
4	18	45	23	11	19	39	23	19	27	50	26
5	18	35	21	8	25	42	20	44	41	88	35
5	29	58	26	37	51	82	30	6	11	21	16
5	18	33	20	8	30	49	23	7	30	48	22
4	14	32	20	10	30	42	21	6	26	47	30
14	30	66	28	29	46	63	28	6	24	39	20
5	30	51	21	10	24	40	23	11	18	38	19
6	23	44	20	10	31	49	26	15	23	47	24
15	23	44	20	41	46	85	36	10	22	50	26
10	16	33	18	33	45	71	29	4	12	29	24
1	14	28	19	30	26	63	20	—	27	51	25
5	25	50	21	16	28	50	21	26	32	55	23
5	37	56	22	23	40	62	28	5	23	48	24
5	23	48	23	19	20	58	26	5	25	44	23
3	37	79	26	15	33	48	21	10	20	38	19
2	26	47	21	20	29	72	28	20	23	49	24
33	42	76	23	25	39	50	18	6	17	43	24
2	19	41	28	13	24	49	23	20	31	50	23
1	19	29	14	22	32	54	24	7	25	41	22
2	38	62	21	10	28	49	23	25	37	55	24
37	31	60	22	24	32	58	23	7	19	37	20
21	43	67	24	19	22	38	21	4	16	52	23
40	47	85	19	10	17	41	21	3	9	28	23
6	34	73	24	22	22	58	25	3	12	27	23
5	17	53	22	9	13	35	18	2	26	42	21
4	16	38	19	25	39	71	26	17	27	44	24
10	39	57	22	10	28	50	22	18	30	41	23
23	31	51	24	3	23	42	20	5	21	54	24
13	40	64	27	5	19	40	27	5	25	54	23
30	29	85	28	7	25	46	24	11	19	34	20
13	32	45	22	3	33	48	28	5	14	48	23
25	39	67	28	20	34	67	24	11	11	26	19
3	16	28	21	12	30	59	27	2	18	40	20
14	36	58	21	2	15	30	18	0	14	30	12
16	24	46	22	3	21	40	19	2	20	38	20
24	32	63	26	18	34	67	26	38	52	86	30
16	24	42	25	1	22	44	19	10	25	60	32

mérjük, ami a halmaz helyes értékelését teszi lehetővé, hiszen az ilyen csoportokban levő szemcséknek a belső felülete a talajnak a vízzel szemben való viselkedését nem befolyásolja. Így mérjük azonban a lazán kötött aggregátumokat is, mert az ülepedési sebesség csak az egymáshoz kapcsolódott egység átmérőjétől függ, az aktív belső felület azt nem befolyásolja. Ez az oka annak, hogy a peptizáció sikerétől függően ugyanabból a mintából egymástól lényegesen eltérő agyag-tartalom értékeket határozhatunk meg. Ha sikerül a tökéletes peptizáció, a laza kapcsolatokat mind szétbontjuk, az ülepítéssel meghatározott agyag-tartalom ténylegesen azoknak a 2μ -nál kisebb szemcséknek a mennyiségét méri, amelyek aktív felületükkel a talaj és a víz kölcsönhatását megszabják. Az irreverzibilisen kötött agyagásványok azonban ekkor is a nagyszemcsék tartományában jelentkeznek, megfelelően tényleges fizikai viselkedésüknek. Ez az oka annak, hogy — ha van a halmazban irreverzibilisen kötött finom szemcse — az ülepítéssel meghatározott agyag-tartalom mindig kisebb érték, mint az iszap frakciót is tartalmazó minta elektronmikroszkópos, röntgenes, vagy DTA vizsgálatának eredménye. Ez a tény mutatja egyben azt is, hogy a felsorolt ásványtani vizsgálatok nem az aktív finom szemcsék arányát, hanem a 2μ -nál kisebb ásványi szemcsék teljes mennyiségét mérik, tehát ez az érték nem lehet jellemző a halmaz tényleges fizikai viselkedésére.

Azoknak a közleményeknek a tanulmányozása során, amelyekből az 1/a és 1/b táblázat adatait gyűjtöttük, megállapíthattuk, hogy néhány



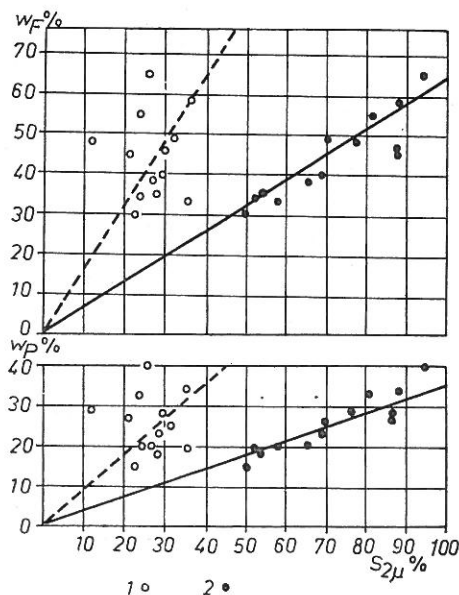
2. ábra

A folyási- és plasztikus-határ kapcsolata az agyagtartalommal DUMBLETON és WEST [5] mérései szerint. I. Montmorillonit. II. Kaolinit. III. Keuper márga. a) Ásványtani vizsgálattal, b) ülepítéssel mérve, c) egyedi mérések ülepítéssel

szerző nem a most elemezni kívánt célból határozta meg a számunkra szükséges adatokat, hanem más szempögből vizsgálta az agyagásványok tulajdonságait és csak kiegészítő adatként mérte a plaszticitást [1, 3, 11, 17]. Mások csak a mérési adatokat közölték elemzés nélkül egyenlőre, rendelkezésre bocsátva ezeket a további vizsgálatok számára [4]. Találunk azonban számos olyan tanulmányt is, amelynek közvetlen célja a plaszticitás és az agyagtartalom közötti kapcsolat meghatározása volt [6, 7, 14, 15, 16, 17].

Az utóbbi csoportba tartozó közleményekben javasolt módszerek lényegesen különböznek egymástól. A vizsgálatok ugyanis nagymértékben eltérő eredményt adnak attól függően, hogy az agyagtartalmat a választott adatokban milyen módszerrel mérték. Az egyetlen azonosság ezekben a közleményekben az, hogy minden kapcsolati görbe vagy egyenlet különbséget tesz az agyagásványok három fő csoportja — kaolinit, montmorillonit, illit — között.

A plaszticitás és az agyagtartalom közötti kapcsolat meghatározására vonatkozóan részletesen elemezzük DUMBLETON és WEST [5] közleményét, mert ennek eredménye adja mostani vizsgálatunk kiindulási alapját. Az idézett tanulmány előbb négy kapcsolati görbét közöl a $w_F-S_{2\mu}$ és a $w_P-S_{2\mu}$ összefüggés leírására, külön jellemezve a montmorillonit és külön a kaolinit tartalmú halmazokat. A görbék szerkesztéséhez az „agyag” mennyiségét ásványtani vizsgálattal határozták meg. A kiindulásul használt anyag csaknem tiszta montmorillonit, illetőleg kaolinit szemcsékből álló halmaz volt. Ezt keverték különböző arányban kvarc homokkal és mérve a keverékek plaszticitását az agyag-tartalmat pedig a keverési arányból számítva, meghatározták az összetartozó adatpárokat.



3. ábra

A folyási- és plasztikus-határ kapcsolata az agyagtartalommal és annak változása az utóbbi meghatározási módjától függően. w_F = folyási határ. w_P = plasztikus határ. $S_{2\mu} \%$ = agyagtartalom. Meghatározások: 1. ülepitéssel, 2. ásványtani vizsgálattal

A szerzők vizsgálataikat természetes agyagok jellemzőinek mérésével folytatták. Az agyagtartalmat ekkor ülepítéssel határozták meg, és kapcsolati görbéket szerkesztettek az így mért pontokból is, újra elkülönítve a montmorillonit és a kaolinit tartalmú halmazok adatait.

Nagyon érdekes és új gondolatot ébreszt a különbözőképpen meghatározott kapcsolati görbék összehasonlítása. Megállapítható, hogy a kapcsolati görbék jelentősen különböznek az agyagásvány típusától (montmorillonit, kaolinit) függően, ha az összefüggést ásványtani vizsgálattal mért adatokból határoztuk meg. Ugyanez az eltérés azonban a természetes agyagok ülepítéssel mért adatai alapján szerkesztett görbék között nem mutatkozik. Még érdekesebb az a tény, hogy mind a $w_F - S_{2\mu}$ mind a $w_P - S_{2\mu}$ kapcsolatra meghatározott négy-négy görbe (montmorillonit ülepítéssel és ásványtani vizsgálattal mérve, kaolinit ugyancsak a kétféle módon meghatározva) közül három (a kétféle montmorillonitra és az ülepítéssel mért kaolinitra vonatkozó) alig tér el egymástól, a negyedik viszont (az ásványtani vizsgálattal meghatározott kaolinit-tartalom adatokból szerkesztett) az előzőektől lényegesen különböző eredményt ad (2. ábra).

További, számunkra fontos eredménye az idézett tanulmánynak az a mérési sorozat, amellyel a szerzők a vizsgált kapcsolat változását elemzik attól függően, hogy az „agyag” mennyiség ülepítéssel vagy ásványtani vizsgálattal volt-e meghatározva. A vizsgálathoz különböző Keuper-márga minták eltérő módszerrel mért adatait használják. Az eredményeket összefoglaló ábrájuk (3. ábra) szerint az ásványtani vizsgálattal mért adatok szoros kapcsolatot mutatnak. Az ülepítéssel meghatározott pontok nemcsak nagyobb szóródást adnak, hanem a közülük szerkeszthető kiegyenlítő görbék ugyanahhoz a plaszticitás-adathoz sokkal kisebb agyag-tartalmat rendelnek, mint az előző összefüggés.

Az összegyűjtött adatok értékelése

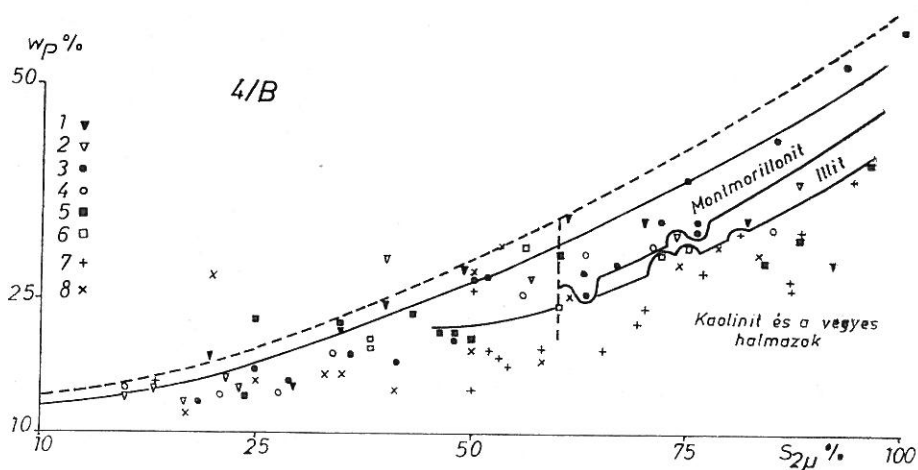
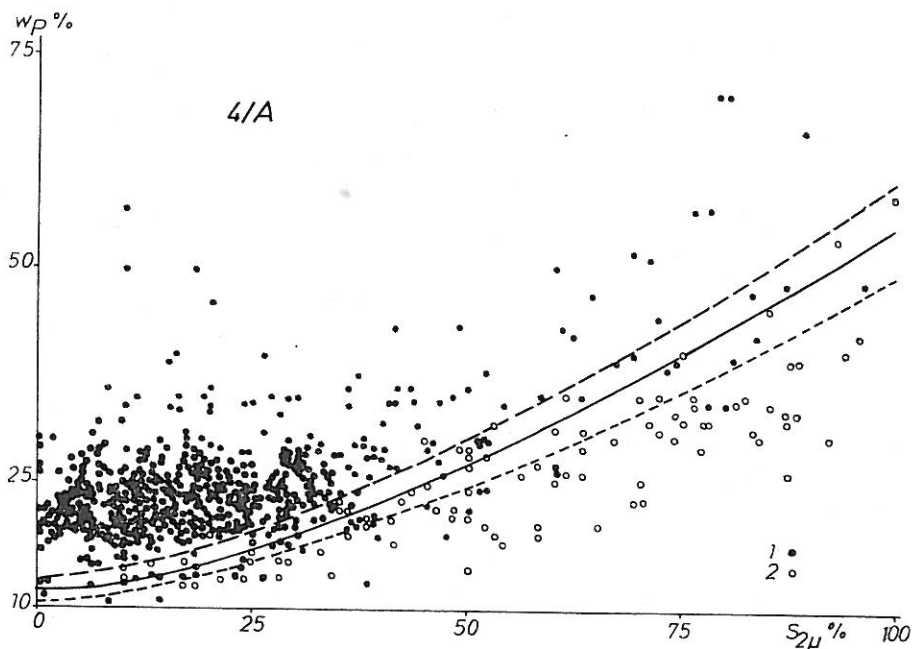
Az összegyűjtött, különböző laboratóriumokban eltérő módszerekkel mért adatpárokat két ábrán összefoglalva ábráztuk, a 4. ábrán a plasztikus határ és az agyag-tartalom ($w_P - S_{2\mu}$) kapcsolatát adó pontokat, az 5. ábrán pedig hasonlóan a folyási határ és az agyagtartalom ($w_F - S_{2\mu}$) közötti összefüggést.

Az első és leglényegesebb megállapítás, amit az összes adatot mutató 4/A ill. 5/A ábráknak az alapján tehettünk, az volt, hogy — elhagyva a kiugróan eltérő eredményt adó minták adatait, amelyek minden esetben különleges viselkedésű agyagásványok (Na montmorillonit, halloysit) jelenlétével magyarázhatók — a maradó több mint ötszáz minta adata, adott vizsgálati körülmények között s ezek hibahatárait figyelembe véve, nem az agyagásványok típusa, hanem az agyagmennyiség meghatározási módja szerint rendeződik. Az ábrák mezőinek bal felét fedik az ülepítéssel mért adatpárokból szerkesztett pontok, míg az ásványtani vizsgálattal meghatározott adatok pontjai az ábrák jobb oldalán találhatók. Az eltérő típusú pontok tartománya éles határ mentén válik el egymástól. A határvonalat közelítően a következő egyenletekkel írhatjuk le:

$$w_P = 0,125 + 0,42 S_{2\mu}^{3/2} \quad (1)$$

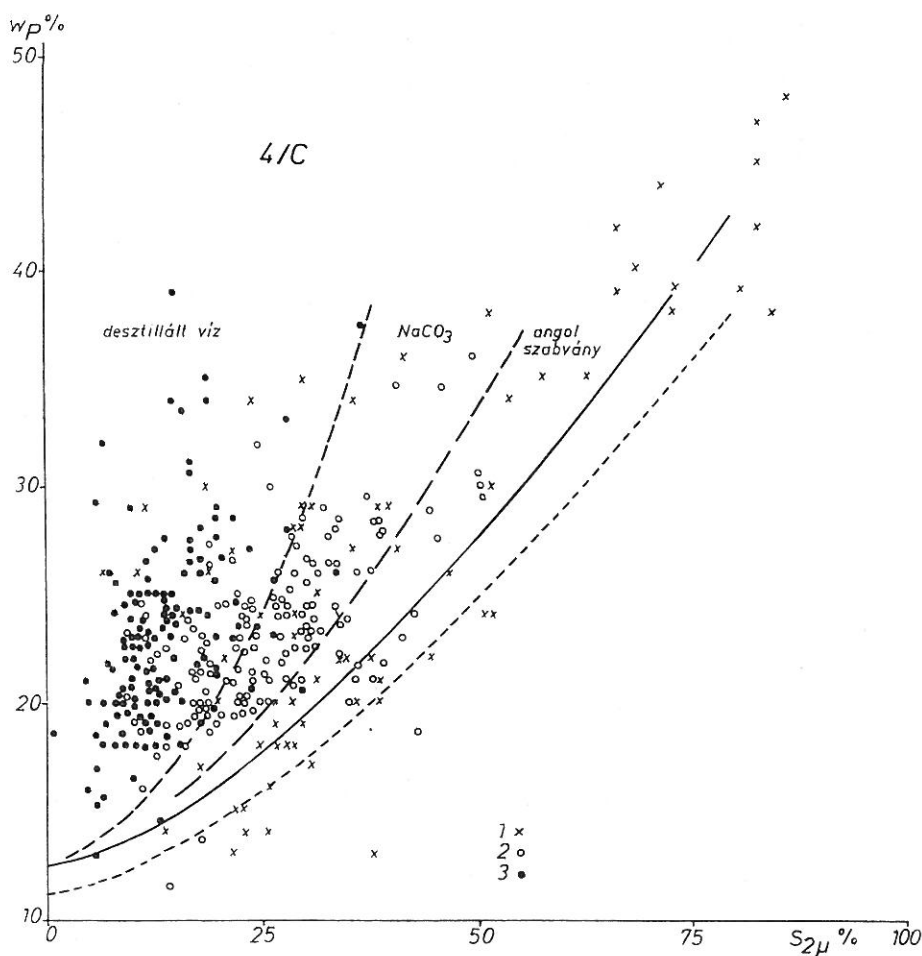
$$w_F = 0,175 + 1,26 S_{2\mu}^{3/2} \quad (2)$$

Csak kevés pont esik az így meghatározott határvonalnak az eltérő jellegű oldalára, és ezeknek az „idegen oldalon” levő pontoknak a távolsága a határtól kicsiny, az eltérés általában kisebb, mint a plaszticitás-adatok mérésében elérhető 10%-os hiba, amit az ábrán szaggatott vonallal tüntettünk fel. A Na montmorillonit eltérő viselkedése ásványszerkezetével magyarázható. Ezek a kristályok ugyanis lemezeik között is aktív töltéssel rendelkeznek, így itt is vízmolekulákat köthetnek le, ami a folyási határ értékét jelentősen növeli (300–500%). DUMBLETON és WEST [5] észlelte néhány mintán, hogy azok folyási határa a vizsgálatra történő előkészítés és a mérés között eltelt idővel



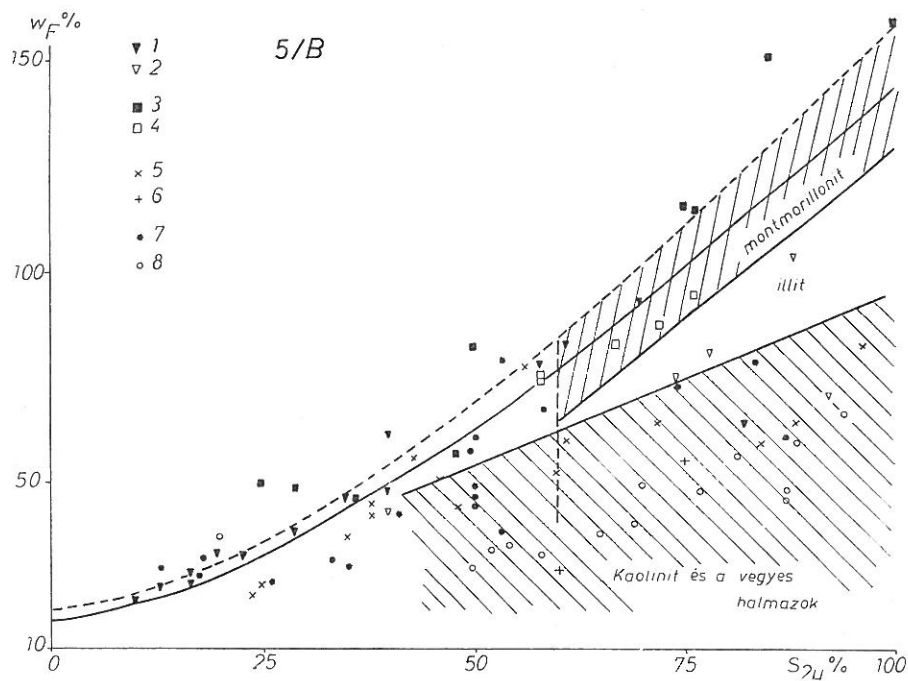
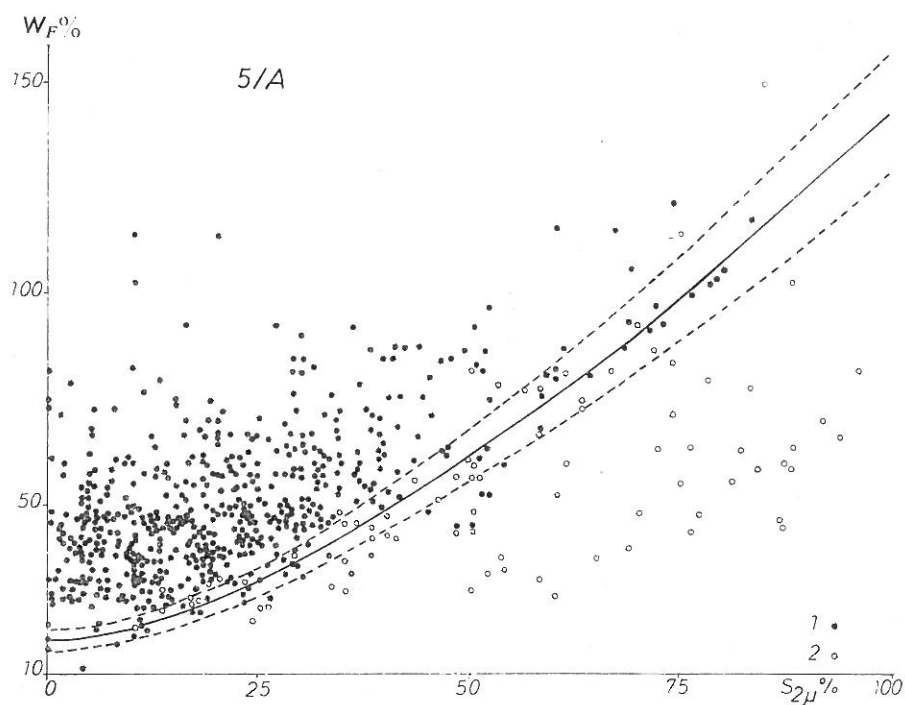
növekedett, a teljes vízfelvétel kialakulása lassan történt meg. Természetesen az ilyen minták esetében az előkészítés után mért adatokat is ki kellett hagynunk a vizsgálatból, mert azok az említett rendszertől eltérő viselkedést mutatnak.

Az adatok két különböző csoportja közötti határ létét az ábrák világosan bizonyítják, ezért keresnünk kell az észlelt szétválasztódás jelentőségét, meg kell találnunk magyarázatát. Ennek érdekében vissza kell idézni, hogy



4. ábra

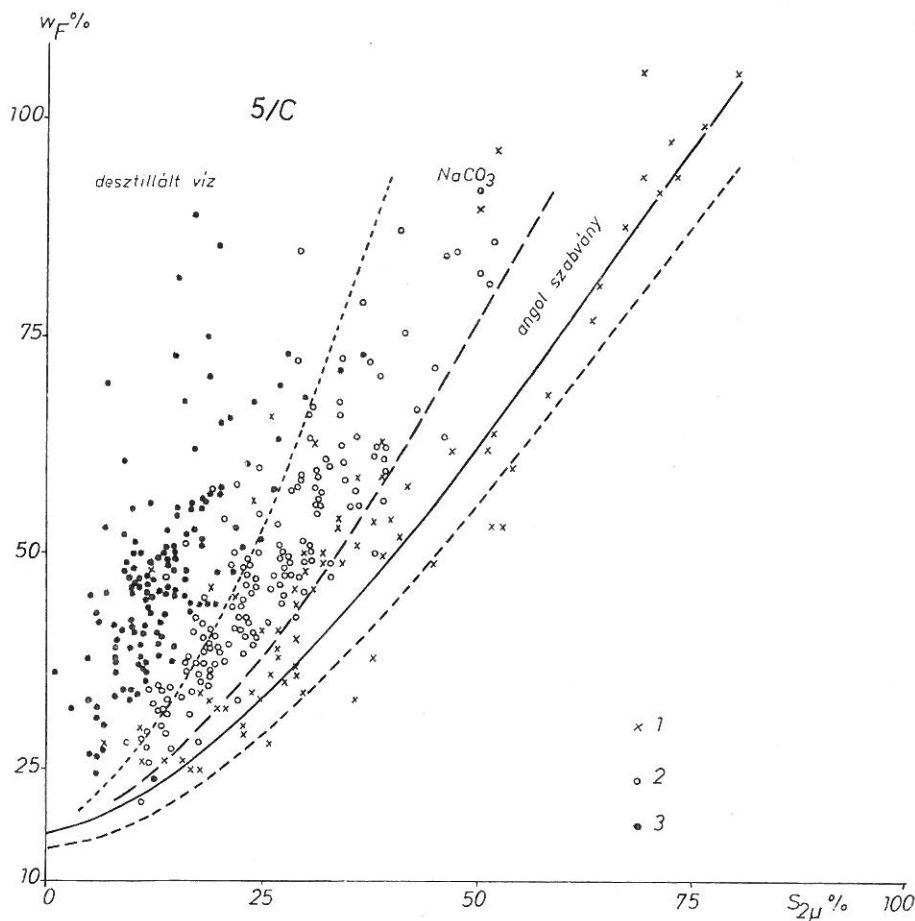
A plusztikus-határ és az aktív agyagtartalom kapcsolata. 4/A: Az összes mérési pont rendeződése a vizsgálati módszer szerint. 1. Ülepítéssel mért adatok. 2. Ásványtani vizsgálattal meghatározott adatok. 4/B: Az ásványtani vizsgálattal meghatározott adatok rendeződése az agyagásványok típusai szerint. 1. Illit. 2. Illit montmorillonit. 3. Ca montmorillonit. 4. Na montmorillonit. 5. Kaolinit. 6. Halloysit. 7. Vegyes, vagy meg nem határozott típusú finom szemesék. 8. Kauper márga. 4/C: Az ülepítéssel mért adatok rendeződése a peptizációs módszerek szerint. 1. Angol szabvány (Na hexametáfoszfáttal). 2. Na_2CO_3 -al. 3. Peptizáció nélkül



a minta teljes agyag-tartalma — mint már említettük az előzőekben — három csoportra bontható:

- egyedi szemcsék (teljes felületük aktív);
- lazán kötött aggregátumokat felépítő szemcsék (csaknem minden szemcse teljes felülete aktív);
- irreverzibilis kötéssel aggregálódott szemcsék (az aggregátumnak csak külső felülete aktív, a belső felületeken a szemcsék olyan szorosan kötődnek, hogy azok már nem befolyásolhatják a talaj és a víz egymáshatását, inaktívvá válnak).

Az ásványtani vizsgálat a 2μ -os és annál kisebb ásványi szemcsék teljes mennyiségét méri. Az így meghatározott agyag-tartalom minden esetben több, mint a ténylegesen aktív szemcsék mennyisége, legfeljebb határhelyzetben — ha nincs irreverzibilisen kötött szemcse a halmazban — lehet a két érték, az összes és az aktív agyag-tartalom egyenlő. Ezzel szemben az ülepitéssel meghatározott agyagtartalom csak kisebb vagy egyenlő lehet a ténylegesen aktív



5. ábra

A folyási-határ és az aktív agyagtartalom kapcsolata. Jelzéseket lásd a 4. ábrán

szemcsék mennyiségével. Az így mért érték ugyanis döntően függ a mérés érdekében készített szuszpenzióban bekövetkező koagulációtól illetőleg peptizációtól. Ha sikerült a mérés előtt valamennyi laza kötésű aggregátumot szétbontanunk, a mért érték a ténylegesen aktív agyag-tartalmat adja. Ellenkező esetben a kötődve maradt, vagy éppen a szuszpenzióban kötődő szemcsék, bár a halmaz viselkedését aktív felületükkel befolyásolják, az ülepítéssel meghatározott szemeloszlási görbének a durva szemű tartományát növelik, a mért $S_{2\mu}$ érték kisebb lesz, mint az aktív agyag-tartalom.

Az előző elemzés alapján nyilvánvaló, hogy ha az ábra jobb oldala azokat az adatokat tartalmazza, amelyek az aktív agyag-tartalomnál nagyobb vagy határesetben azzal egyező eredményt adnak, a baloldalon levő mérések viszont az aktív értéknél kisebbek vagy legfeljebb egyezőek azzal, a határvonal a ténylegesen aktív agyag-tartalom és a kérdéses plaszticitás-adat (w_P vagy w_F) kapcsolatát írja le. Azt állapíthatjuk meg tehát, hogy az (1) és a (2) egyenlet a plasztikus határ, illetőleg a folyási határ és a ténylegesen aktív agyag-tartalom összefüggését adja meg. Segítségével tehát, mérve a plaszticitás-adatokat, azokból ezt a jellemző agyag-tartalom értéket határozhatjuk meg.

Az eddigi megállapítások alapján második kérdésként felmerül, hogy vajjon az előzőekben definiált aktív agyag-tartalom ismerete szükséges-e a gyakorlati feladatok megoldásához, vagy a 2μ -nál, kisebb szemcsék teljes mennyiségének meghatározása.

A talaj és a víz egymásrahatását (vízmozgás, nedvességtartalom stb.) vizsgálva a válasz egyértelmű, az aktív agyag-tartalom ismerete az igényelt érték. A korszerű szivárgás-hidraulikai vizsgálatok egybehangzóan bizonyítják, hogy a víznek mind kétfázisú, mind háromfázisú áramlását a szemcsék aktív felülete befolyásolja. Ezért javasolják a hatékony átmérő meghatározására a felület: térfogat-arány figyelembe vételét (KOŽENY [9], CARMAN [2]). Hasonlóan az aktív szemcsefelület ismerete alapján határozhatunk meg összefüggést a pF görbe leírására, tehát a háromfázisú zóna víztartalmának jellemzésére (KOVÁCS [8]). Mindezekben a vizsgálatokban alapul a halmaz szemeloszlási görbéjét használjuk fel. Annak érdekében, hogy ez valóban az aktív szemcsefelületet adja meg számunkra, a 2μ -os átmérőhöz tartozó súlyszázalék-ként nem a teljes agyagmennyiség értékét kell meghatároznunk, az ülepítés során a nem teljes peptizáció miatt torzított értéket sem használhatjuk, hanem a ténylegesen „aktív agyag-tartalom” értéket kell keresnünk.

Talajmechanikai problémák megoldása, amelyekben a finom szemcsék szerepe jelentős (pl. duzzadás-zsugorodás), ugyancsak kapcsolatban van a víz és a talaj egymásrahatásával. Feltételezhetjük tehát, hogy ilyen vizsgálatok számára is az aktív agyag-tartalom ismerete szükséges. Így megállapíthatjuk, hogy a finom szemcsék viselkedését tanulmányozva nemcsak azért célszerű az (1) és (2) egyenletek használata, mert azzal könnyen mérhető talajfizikai adatokból közelítően következtethetünk a halmaz agyag-tartalmára, hanem azért is, mert így a gyakorlat számára szükséges ténylegesen aktív agyag-tartalom értéket kapjuk meg, az ásványtani vizsgálatokból adódó teljes agyag-tartalom, illetőleg az ülepítésnek a koaguláció által ismeretlen mértékben befolyásolt eredménye helyett.

A javasolt eljárással kapcsolatosan felmerülő következő kérdés az, hogy vajon a halmazban levő agyagásványok típusa befolyásolja-e a kétféle vizsgálati módszerrel meghatározott pontok tartományát elválasztó határvonal

helyzetét, azaz a plasztikus adatok és az aktív agyag-tartalom közötti kapcsolatot. Már említettük, hogy a mérési pontok rendeződését az agyag-tartalom meghatározására használt módszer jobban befolyásolta, mint a halmazban levő agyagásványok típusa. Kiegészítésül azt mondhatjuk még el, hogy az ásványtani vizsgálattal mért adatok tartományában kismértékű, bár nem teljesen határozott rendeződést az agyagásványok szerint is megfigyelhetünk, míg a határvonaltól balra levő mezőben a pontok az ülepítéskor használt peptizációs eljárás szerint csoportosulnak, ez a hatás az ásványtani jelleg befolyását teljesen háttérbe szorítja. Kijelenthetjük tehát, hogy az 1. és 2. egyenlettel leírt határvonal helyzete, így a ténylegesen aktív agyagtartalom kapcsolata a plaszticitási adatokkal, adott vizsgálati körülmények és ennek hibahatárai között, független az agyagásvány típusától.

Ezt az utóbbi megállapítást korlátoznunk kell oly módon, hogy néhány agyagásványt ki kell zárunk a módszer alkalmazhatóságát megszabó érvényességi tartományból. Ezek elsősorban a már említett Na montmorillonitok. Hasonlóan eltérő eredmény adódik, bár nem ennyire kiugró a különbség, halloysit jelenlétében. Végül más megfigyelések alapján az amorf kolloidokat tartalmazó halmazok sem vizsgálhatók a javasolt módszerrel. Olyan módon határozhatjuk meg legkönnyebben adott minta esetében a módszer alkalmazhatóságát, hogy mind a w_p mind a w_F értékből visszaszámítjuk az aktív agyag-tartalmat. Ha a két érték közel egyező, ez a vizsgálat megbízhatóságát igazolja, a meghatározott korlátot (10—15%) meghaladó eltérés viszont a módszer alkalmazhatóságát kizáró agyagásványok jelenlétére utal (2. táblázat).

Említettük, hogy az agyagásvány típusa az ásványtani vizsgálattal, a peptizációhoz használt eljárás az ülepítéssel mért adatok csoportosulását, rendeződését okozza. Ennek további vizsgálatához a 4. és az 5. ábrát kiegészítettük olyan módon, hogy a 4/B és 5/B ábrán a jobb oldali mező pontjait ismételtük jelezve az agyagásványok típusát is, míg a 4/C és 5/C ábrán ugyanígy adtuk meg az ülepítéssel meghatározott pontokat, jelölve a szuszpenzió kezeléséhez használt vegyszert is.

Az adatoknak az agyagásványok szerinti csoportosulása az $S_{2u} > 60\%$ tartományban jól megfigyelhető. A bentonitok közvetlenül a határvonalhoz csatlakozó zónában helyezkednek el. Ezt követik a választóvonalától távolodva az illitek, bár ezek közül néhány adat a montmorillonitok közt jelenik meg. Végül a legtávolabb keverten találjuk a kaolinitokat és az agyagásványokat vegyesen tartalmazó halmazok adatait. A kisebb súlyszázalék értékek tartományában a pontok elrendeződésére az említett sorrend továbbra is érvényes, az adatok azonban már nem válnak élesen szét, azt figyelhetjük csak meg, hogy a montmorillonitok adatai általában a határvonalhoz közelebb, a kaolinitok és a kevert minták pontjai attól többnyire távolabb találhatók.

Visszaidézve az 1. ábrán bemutatott energiagörbéket, az ásványtani jellegtől függő különbségek magyarázatát abban kereshetjük, hogy a montmorillonit energiagörbéje az ábrán mutatott A típusú, a kaolinité a B típusú görbéhez hasonló. Az előző esetben tehát csökkentve a szemcsék közötti távolságot, a köztük működő taszítóerő növekszik és csak a maximumpont helyénél kisebb távolság esetében vált át az elektrosztatikus hatások eredője vonzássá. Ezért ezek a szemcsék csak akkor kötődnek irreverzibilisen, ha egészen közel kerülnek egymáshoz. A B típusú görbe szerint viszont a szemcsétől mért távolságtól függetlenül az eredő mindenütt pozitív, tehát a szemcsék mindig

2. táblázat

A különböző módszerrel meghatározott agyag-tartalom értékek összehasonlítása

(1) Az anyag megnevezése	(2) Irodalmi hivatkozás	(3) Plaszticitási jellemző %		(4) Ásványtani vizsgálattal	(5) Ülepítéssel	(6) aktív agyagtartalom, %	
		WF	WP	meghatározott agyag-tartalom, %		WF-ből	WP-ből
A) A feltárt összefüggést kielégítő anyagok							
Montmorillonit	saját mérések	0,87	0,35	0,70	0,27	0,67	0,66
	SZILVÁGYI [15, 16]	0,94	0,35	0,76	0,20	0,72	0,66
	DUMBLETON & WEST [5]	1,58	0,58	1,00	—	1,00	1,00
Illit	saját mérés	0,33	0,19	0,20	0,07	0,25	0,28
	SZILVÁGYI [15, 16]	0,43	0,23	0,40	0,14	0,35	0,39
	CRAFT [3]	1,03	0,39	0,88	—	0,79	0,74
Kaolinit	DUMBLETON & WEST [5]	0,52	0,25	—	0,41	0,42	0,44
	„	0,82	0,42	0,96	—	0,64	0,79
	CRAFT [3]	0,59	0,30	0,88	—	0,47	0,55
Agyag	SCHMERTMAN [13]	0,38	0,19	0,53	—	0,30	0,29
	DUMBLETON & WEST [5]	0,77	0,35	—	0,63	0,60	0,65
Iszap	Saját mérés	0,33	0,19	0,20	0,07	0,25	0,28
	THOMPSON [17]	0,54	0,24	—	0,34	0,43	0,41
Keuper márga	DUMBLETON & WEST [5]	0,35	0,18	0,54	0,28	0,27	0,26
	„	0,49	0,25	0,70	0,32	0,40	0,43
B) A feltárt összefüggéstől eltérően viselkedő anyagok							
Na Montmorillonit	Saját mérés	1,43	0,14	0,34	—	1,00	0,11
	SZILVÁGYI [15, 16]	1,16	0,27	—	0,13	0,84	0,49
Halloysit	CRAFT [3]	0,55	0,32	0,75	—	0,44	0,60
	DUMBLETON & WEST [5]	1,03	0,66	—	0,79	0,78	1,00
Bauxit	DUMBLETON & WEST [5]	0,60	0,34	—	0,54	0,49	0,63
A pihentetés hatására növekvő folyási határral jellemzett agyag	DUMBLETON & WEST [5]	0,87	0,48	—	0,87	0,67	0,89
	DUMBLETON & WEST [5]	0,78	0,38	—	0,85	0,61	0,74

vonzzák egymást. Ezért az ilyen jellegű — kaolinit-típusú — agyagásványok irreverzibilis aggregálódása mindig nagyobb mértékű, teljes agyag-tartalma többnyire jelentősen meghaladja az aktív agyag-tartalom értéket, míg a montmorillonitok legtöbbször egyedi szemcsék maradnak, vagy csak lazán kötődnek, az aktív és a teljes agyag-tartalom azonos, vagy közel egyenlő.

A peptizációhoz használt különböző vegyszerek hatását elemezve, a 4/C és 5/C ábráról azt állapíthatjuk meg, hogy a nátrium hexametáfoszfát (az angol szabvány szerint) előkészített ülepités adja meg legmegbízhatóbban a tényleges „aktív agyag-tartalom” értéket. Láthatjuk azonban azt is, hogy ez az eljárás sem megbízható, nagyon nagy a szórás, van adat, ami csak a tényleges agyag-tartalom felét éri el. A NaCO_3 -os kezeléssel meghatározott adatok legnagyobb értékei is 20%-kal kisebbek mint az aktív agyag-tartalom, és a legkisebb adatok ilyen esetben is a keresett érték 50%-ra becsülhetők. Végül előkezelés nélkül ülepitve a szuszpenziót, a mért $S_{2\mu}$ érték az aktív agyag-tartalomnak csak 0—50%-a. Az összehasonlítás figyelmeztet az ülepitéssel mért $S_{2\mu}$ érték megbízhatatlan voltára és felhívja figyelmünket arra, hogy célszerű lenne talajfizikai laboratóriumainkban az angol szabvány szerinti előkezelés alkalmazása.

Az eredmény összehasonlítása a Casagrande-féle „A” vonallal

Ismeretes, hogy a kötött anyagok jellemzésére gyakran alkalmazzuk a plasztikus index ($I_P = w_F - w_P$) és a folyási határ kapcsolatát. CASAGRANDE szerint a két említett változó közötti kapcsolat lineáris, és csak a valamilyen szempontból különleges viselkedésű (pl. szerves) agyagok adatpárjai nem illeszkednek a sok minta jellemzőjéből meghatározott átlagos kapcsolati vonalra (az ún. A vonalra), amelyek egyenlete:

$$I_P = w_F - w_P = 0,73 (w_F - 0,2) \quad (3)$$

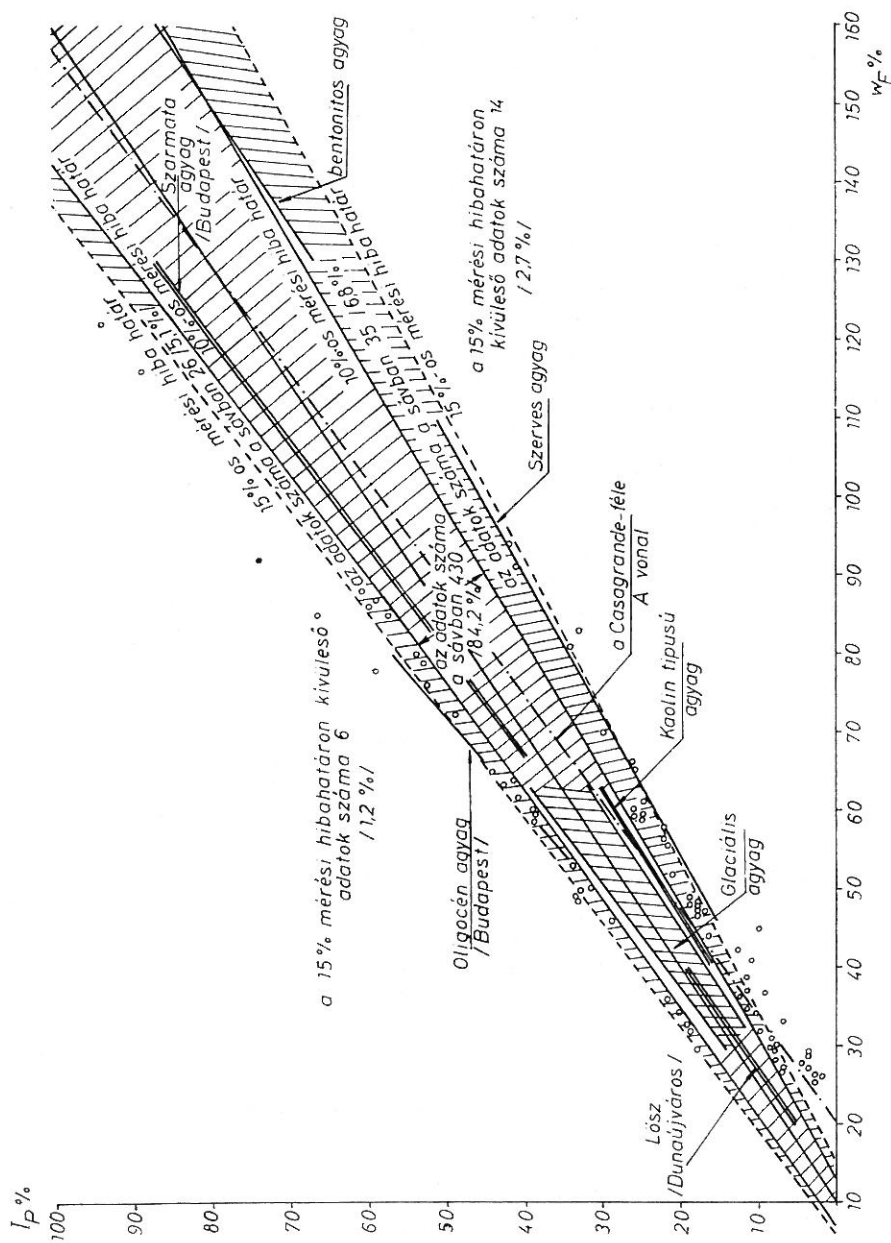
Hasonló kapcsolati vonalat határozhatunk meg a most levezetett függvények alapján is, ha az 1. egyenletet kivonjuk a 2. egyenletből:

$$I_P = w_F - w_P = 0,05 + 0,84 S_{2\mu}^{3/2} = 2/3 (w_F - 0,1) \quad (4)$$

Annak érdekében, hogy megítélhessük a (3) és (4) egyenlet közötti eltérést, vizsgáljuk meg előbb, hogy meghatározott mérési hiba esetében a kapcsolati vonalhoz képest az adatok miképpen szóródnak. Minthogy a mérési hiba külön a plasztikus és külön a folyási határt terhelheti, a kapcsolat várható hibáját nem a mérési pontok eloszlását és szórását elemezve vizsgáltuk, hanem megállapítottuk a (4) egyenlettel meghatározott egyenestől eltérő kapcsolatokat, a $w_F \pm 10\%$ -os és a w_P ugyancsak $\pm 10\%$ -os hibáját feltételezve minden lehetséges kombinációra ($\Delta w_F = +10\%$, $\Delta w_P = +10\%$; $\Delta w_F = +10\%$, $\Delta w_P = 0$; $\Delta w_F = +10\%$, $\Delta w_P = -10\%$; $\Delta w_F = 0$, $\Delta w_P = +10\%$; $\Delta w_F = 0$, $\Delta w_P = 0$; $\Delta w_F = 0$, $\Delta w_P = -10\%$; $\Delta w_F = -10\%$, $\Delta w_P = +10\%$; $\Delta w_F = -10\%$, $\Delta w_P = 0$; $\Delta w_F = -10\%$, $\Delta w_P = -10\%$).

Az így adódó kapcsolati görbéket a 6. ábra mutatja. Láthatjuk, hogy a w_F értékben mért szélső eltérés általában -10 , $+15\%$ -os, a kis plasztikus indexek ($I_P < 0,4$) tartományában az eltérés fokozatosan növekszik és az $I_P = 0$ helyen a $\Delta w_F = \pm 25\%$ -ot éri el. Hasonló elemzést hajtva végre $\pm 15\%$ -os mérési hibát feltételezve, a szélsőséges eltérést ugyancsak ábrázoltuk a 6. ábrán.

Az így meghatározott 10% -os, illetőleg 15% -os mérési hibával jellemzett érvényességi zónákat átvittük a 7. ábrára és itt ábrázoltuk az 1. táblázatokban levő valamennyi összetartozó $w_F - w_P$ adatpárral jellemzett pontot. A pontok



7. ábra
A mérési pontok szóródása az $I_p - w_L$ koordináta rendszerében

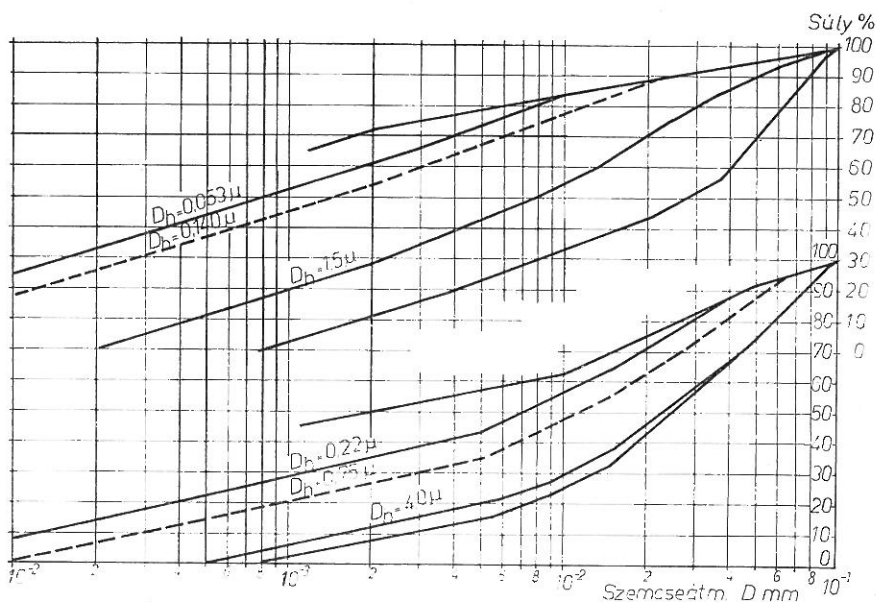
lettel meghatározott vonalra. Ezzel egyben ellenőrizhetjük azt is, hogy a vizsgált minta esetében a most ismertetett módszer alkalmazható-e. Ha a mért w_F és w_P érték ismeretében az anyagot az $I_P - w_F$ síkon ponttal ábrázoljuk, és ez a feltételezett mérési hibahatár által kijelölt zónán belül helyezkedik el, az (1) és a (2) egyenletet használhatjuk az „aktív agyag-tartalom” meghatározására.

Az aktív agyag-tartalom ismeretének fontossága szivárgási vizsgálatokban

Az „aktív agyag-tartalom” egyik legfontosabb alkalmazása a szemeloszlási görbéknek a javítása a legfinomabb szemcsék tartományában. A 8. ábrán két minta szemeloszlási görbéjét mutatjuk be. Mindkét esetben használtuk mind az ásványtani, mind az ülepítési módszert az $S_{2\mu}$ érték meghatározásához, így mindegyik mintára több görbét kaptunk. Az elmondottaknak megfelelően az előző a ténylegesen aktív agyag-tartalomnál nagyobb százalékat, az utóbbi kisebb értéket ad, és ezért a KOŽENY-féle [9] hatékony átmérő az első görbéről meghatározva kisebb, az ülepítéssel mérve nagyobb, mint a reális érték.

Tudjuk, hogy a szivárgási tényező ennek az átmérőnek a négyzetével arányos. Ezért minden szivárgási vizsgálathoz alapvetően fontos, hogy a hatékony átmérő reális értékét ismerjük. Az (1) vagy a (2) egyenletből számítva az $S_{2\mu}$ értéket, javíthatjuk a szemeloszlási görbét és meghatározhatjuk ehhez is a hatékony átmérőt, amint ezt a 8. ábrán ugyancsak feltüntettük.

Ellenőriznünk kell azonban, vajon valóban az így számított hatékony átmérő jellemzi-e helyesen a szivárgási tényezőt, ezt az aktív agyag-tartalmat



8. ábra

A szárítás módosító hatása kötött halmazok szemcseeloszlási görbéjére

tekinthetjük-e a halmaz reális mérőszámának. Ha az ellenőrzés ennek a kapcsolatnak a helyességét igazolja, ez egyben az $S_{2\mu}$ érték meghatározására javasolt módszer megbízhatóságát is alátámasztja.

A vizsgálathoz először a 8. ábrán jellemzett két mintát többször egymásután kiszáritottuk, majd újra vízzel telítettük, hogy elvékonyítva minden száritáskor a hidrátköröt, a szemcséket közelítsük egymáshoz és így növeljük az irreverzibilis kötések számát. A 3. táblázatban a természetes és a szárit-

3. táblázat

A maximális molekuláris vízkapacitás és az áteresztőképesség változása száritás hatására

(1) A vizsgált anyag	(2) Természetes állapotban		(3) Erős és ismételt száritás után	
	$w_{\text{mol}} \%$	km/sec	$w_{\text{mol}} \%$	km/sec
Ca bentonit	37,5	$1,3 \cdot 10^{-9}$	29,0	$9,3 \cdot 10^{-9}$
Agyag	20,2	$4,5 \cdot 10^{-8}$	16,9	$4,1 \cdot 10^{-7}$

tott minták szivárgási tényezőit és maximális molekuláris vízkapacitását adtuk meg. A w_{mol} és a $S_{2\mu}$ érték között hasonló kapcsolat állítható fel, mint a folyási- vagy a plasztikus-hatással. Kezdetben vizsgálatainkat ezzel a jellemzővel végeztük, csak azért tértünk át a w_F és w_P alkalmazására, mert ez elterjedtebben használt adat, statisztikai elemzéshez az irodalomból több ismeretanyag gyűjthető.

A plaszticitás-jellemző csökkenése egyértelműen mutatja az irreverzibilis kötések számának növekedését, az aktív agyag-tartalom csökkenését. Ezért megfelelően módosítani kell a száritott minták szemcseeloszlási görbéit, amit a 8. ábrán a szaggatott vonalakkal tüntettünk fel. Az új szemcseeloszláshoz új hatékony átmérő számítható, ami az első minta esetében 2,65-szörös, a második mintához tartozóan pedig 3,16-szoros növekedést mutat a száritás előtti adatokhoz viszonyítva. Ha elfogadjuk a szivárgási tényező és a hatékony átmérő négyzetes kapcsolatát, a száritásnak a szivárgási tényező 7-szeres, illetőleg 10-szeres növekedését kellett okoznia. A tényleges mért változás 7,1-szeres, illetőleg 9,1-szeres, ami a várt értékkel nagyon jól egyezik.

Ez a vizsgálat egyszerre bizonyítja a plaszticitás-jellemzők és az „aktív agyag-tartalom” kapcsolatának meghatározására javasolt módszer megbízhatóságát, valamint az irreverzibilis kötések számbeli változásának hatását az aktív agyag-tartalom így meghatározott értékére. Igazolja ugyanakkor, hogy az „aktív agyag-tartalom” az a megfelelően választott $S_{2\mu}$ érték, amelynek figyelembevételével számítva a hatékony szemcseátmérőt, a szivárgási tényezőt helyesen megadó adatot, annak valóban négyzetgyökével arányos értéket kapunk.

Összefoglalás

A tanulmányban nagyszámú irodalomból gyűjtött és saját mérési adat alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a plaszticitási jellemzők kapcsolata az agyag-tartalommal nem egyértelmű, ha az utóbbit vagy az iszapfrakció felső határán leválasztott mintából ásványtani vizsgálattal, vagy a $< 2\mu$ frakció ülepitésével választásával mérjük. Kimutatható volt azonban, hogy a kétféle módon mért érték kétoldaltól közrezárja az aktív agyag-tartalom értékét, amelyet az ásványtani módszerrel mért érték annál jobban közelít, minél kevesebb a halmazban az egymáshoz irreverzibilisen kötődő szemcse. Viszont az ülepitési eredmény általában kisebb az aktív agyag-tartalomnál és csak akkor egyezik azzal, ha a szuszpenzió peptizálását sikerült teljesen végrehajtani.

Az is igazolható volt, hogy mindazok a folyamatok, amelyeket a víz és a szemcse egymáshoz való befolyásol, az aktív agyagásvány tartalommal hozhatók kapcsolatba. Így szoros összefüggés volt kimutatható ennek értéke, valamint a folyási és plasztikus határ között. Ezért az említett talajfizikai adatok egyben az aktív agyag-tartalom meghatározására is felhasználhatók.

Az aktív agyag-tartalom tulajdonképpen a szemcseeloszlási görbe 2μ -os abszcisszájához tartozó súlyszázalék, tehát ismeretében az ülepitéssel meghatározott szemeloszlási görbét javíthatjuk. Az így módosított görbéből számított hatékony szemátmérő és a mért szivárgási tényező kapcsolata egyezik az elméleti összefüggéssel. Ez nemcsak az aktív agyag-tartalom definíciójának és javasolt meghatározási módjának helyességét igazolja, hanem felhívja egyben a figyelmet arra, hogy mindazok a hatások, amelyek az irreverzibilis aggregátumok számát és ezzel együtt a minta aktív agyag-tartalmát módosítják, változtatják az agyag fizikai tulajdonságát, így vízzáróképességét is.

Az agyag-tartalom meghatározására javasolt egyenletekből a CASA-GRANDE-féle A vonalhoz hasonló, attól számszerűen csak kis mértékben eltérő összefüggés vezethető le. Megállapítható volt, hogy a nagyszámú feldolgozott adatnak csaknem mindegyike illeszkedik az $I_P - w_F$ koordináta rendszerben meghatározott egyeneshez, vagy eltérése attól a még megengedhető hibahatárnál kisebb. Kivétel csak néhány különleges agyagásványt tartalmazó minta. Az eltérően viselkedő ásványok a Na montmorillonit, a halloysit, valamint azok az agyagok, amelyekben amorf kolloidok jelenléte volt valószínűsíthető.

Az előzők alapján feltehető, hogy a különböző agyagtartalmú minták függetlenül az agyagásványok típusától és azok kémiai jellegétől, azonos fizikai adatokkal jellemezhetők, ha az $I_P - w_F$ rendszerben olyan ponttal ábrázolhatók, amely az A vonalat a meghatározott hibahatáron belül megközelíti. Ezeknek az agyagoknak tehát reológiai tulajdonságaik, vízzel szemben való viselkedésük, duzzadásra és zsugorodásra való hajlamuk közel azonos. Ezek a tulajdonságok csak az aktív agyag-tartalom függvényei. Várható ilyen módon, hogy általános kapcsolatot határozhatunk meg a felsorolt jellemzők és a plaszticitási adatok között. Ez az agyagok vizsgálatát nagymértékben egyszerűsítene, hiszen bonyolult méréseket egyszerű egyenletekkel helyettesítve kapnánk meg ezeknek a „normális viselkedésű” agyagoknak fizikai tulajdonságait. Csupán a „normálistól eltérő”, tehát az A vonal zónáján kívül jutó agyagok részletes vizsgálatára lehetne korlátozni a jövőben a bonyolult mérési módszereket. Ennek a feltételezésnek a szilárd megalapozása azonban még több igazoló mérési sorozat elvégzését teszi szükségessé.

Irodalom

- [1] ARCAN, L.: Etude spectrophotométrique en infrarouge du comportement des sols argileux humectés. Symp. Water in the Unsaturated Zone. Wageningen. Inter. Assoc. Sci. Hydrol. UNESCO 1966.
- [2] CARMAN, P. C.: Flow of Gases Through Porous Media. Butterworth. London. 1956.
- [3] CRAFT, H.: The Influence of Soil Mineralogical Composition on Cement Stabilization. Geotechnique. (2) 1967.
- [4] DARAB, K. et al.: Agyagásványok meghatározási módszereinek kidolgozása. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. (Kézirat) Budapest. 1967.
- [5] DUMBLETON, M. J. & WEST, G.: Some Factors Affecting the Relation Between the Clay Minerals in Soils and Their Plasticity. Clay Miner. **6**, 179—193. 1966.
- [6] HERCZOG, H. et al.: Alkalmazott talajmechanika a vízepítésben. Mérnöki Továbbképző. Int. Budapest. 1966.
- [7] KOVÁCS, GY.: Hidraulika. III. kötet. Vízügyi Dok. Központ. Budapest. 1967.
- [8] KOVÁCS, GY.: Characterization of the Molecular Forces Influencing Seepage with the Help of the pF Curve. Agrokémia és Talajtan. Suppl. **17**, 1—12. 1968.
- [9] KOŽENY, J.: Hydraulik. Springer. Wien. 1953.
- [10] KUHN, A.: Kolloidkémiai zsebkönyv. Műszaki Kiadó. Budapest. 1963.
- [11] LO, K. Y.: Second Composition of Clays. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. Soil Mech. **87**, (4) 61—87. 1961.
- [12] RÉTHÁTI, L.: Talajmechanikai feladatok megoldása statisztikai módszerekkel. Doktori disszertáció. Budapest. 1968.
- [13] SCHMERTMAN, J. H.: Comparison of One and Two-specimen CFS Tests. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. Soil Mech. **88**, (6) 168—205. 1962.
- [14] SEED, J., WOODWARD, R. & LUNDGREN, O.: Clay Mineralogical Aspect of the Herbergs Limits. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. Soil Mech. **90**, (4) 1964.
- [15] SZILVÁGYI, I.: Agyagok fizikai-kolloidkémiai összefüggéseinek vizsgálata. Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat Évi Jelentése. Budapest. 1963—1966.
- [16] SZILVÁGYI, I.: The Stability Problems of Clay Valley Slopes in North Hungary. 9th Congr. de Grand Barrage. Istambul. 1967.
- [17] THOMPSON, M. R.: Lime Reactivity of Illinois Soils. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. Soil Mech. **92**, (5) 67—92. 1966.

Érkezett: 1970. december 29.

Relationships between the Plasticity and the Clay Mineral Content of Soils

GY. KOVÁCS

Research Institute for Water Resources Development, Budapest (Hungary)

Summary

On the basis of a great number of data taken from the literature as well as from our own investigations, the conclusion was drawn that there are no unequivocal relationships between the plasticity indexes and clay contents ($< 2\mu$ particle-size fraction) determined either by mineralogical analyses or by sedimentation. The „active clay content” of a medium is between the „clay content” values determined by mineralogical investigations and sedimentation method, respectively. The lower quantity of irreversibly bound particles in the aggregation, the smaller differences between the „active clay content” and clay content determined by mineralogical investigations. The clay content determined by sedimentation is generally lower than the „active clay content”, or gives the same value if the peptization of the suspension is complete.

It could also be established that the processes, influenced by the interactions between water and solid particles, are related with the active clay content. There is a close correlation between the active clay content and the flow and plasticity limits. Therefore, these limits can be used for the determination of the active clay content.

The active clay content is a weight percentage shown at the 2μ abscisse of the particle-size distribution curve. Knowing an exact value for the active clay content, the particle-size distribution curve, determined by sedimentation method, can be corrected. The relationship between the „effective particle diameter”, calculated from the modified curve, and the measured filtration coefficient is in good agreement with the theoretical correlation. This proves that our „active clay content” definition and the methods proposed for its determination are correct and call the attention to the fact that all the influences modify the amount of irreversible aggregates and, at the same time, the active clay content change the physical properties of the clay, and consequently its permeability.

From the equations proposed for the calculation of the clay content, a relationship can be derived which is, apart from some numerical differences, similar to CASA-GRANDE'S A-line. Nearly all of the great many data processed fit to the straight line determined by the $i_p - w_F$ coordinate system, or their deviations from it are within the permissible limit of error. The only exceptions are the data concerning the samples containing some special kinds of clay minerals, viz. Na montmorillonite, halloysite and clays in which the presence of amorphous colloids is expected.

Consequently, it can be assumed that the samples of different clay contents, independently of the types and chemical properties of the clay minerals, can be characterized by the same physical parameters, if they can be defined by such a point in the $i_p - w_F$ system which approaches the A-line within a certain permissible limit of error. This means that the rheological properties of these clays, their behaviour against water, their swelling and shrinkage are nearly the same. These properties depend only from the active clay content. Therefore, it is more probable that a general relationship can be established between the above-mentioned characteristics and the plasticity indexes. Such a general relationship would make the clay analyses much more simple because, instead of complicated measurements, the physical properties of these „normal clays” could be calculated by simple equations. In the future, the complicated measurements would be restricted to the examination of „not normal clays” outlying of the zone of the A-line. The adequate justification of this assumption, however, needs a lot of further measurements.

Table 1a. Relationships between the clay content (determined by mineralogical analysis) and the plasticity values. (1) Substance examined. (2) Characteristics of the clay content and clay minerals: $S_{2\mu}\%$ and distribution of clay minerals, %; M = montmorillonite, I = illite; K = kaolinite; O = mixed or not determined clay minerals. (3) Plasticity values, %.

Table 1b. Relationships between the clay content (determined by sedimentation method) and the plasticity values. (1) Substance examined. (2) Clay content and characteristics of the clay minerals: $S_{2\mu}\%$ with and without peptization. Signs for the clay minerals see Table 1a. (3) Method of peptization. (4) Plasticity values, %.

Table 1c. Clay content (determined by sedimentation method) and plasticity values for a brown forest soil formed on a heavy-textured Pannonian marine sediment parent material (mixed or not determined clay minerals). (1) Clay content. (2) Plasticity values, %.

Table 1d. Clay content (determined by sedimentation method) and plasticity values for an alluvial soil formed on infusion lowland loess parent material. (1) Clay content without and with peptization. (2) Plasticity values, %.

Table 2. Comparison of clay contents determined by different methods. (1) Substance determined. (2) References. (3) Plasticity index. (4) Clay content determined by (4) mineralogical analysis and (5) sedimentation method, %. (6) Active clay content, %. Substances A) fitting and B) not fitting the correlations established.

Table 3. Changes in the maximum molecular water capacity and permeability due to drying. (1) Substance examined. (2) Original. (3) After repeated drying.

Fig. 1. Distribution of electrostatical attracting and repelling forces in the liquid (as wall action) plotted against the distance from the wall, integrated form, given as energie-diagram. 1) K-Thickness of the double layer. a) Attracting and b) repelling forces.

Fig. 2. Correlations between the flow and plasticity limits and the clay contents (according to the measurements of DUMBLETON and WEST [5]) I. Montmorillonite. II. Kaolinite. III. Keuper marl. Determined by a) mineralogical analyses and b) sedimentation method.

Fig. 3. Correlation between the flow and plasticity limits and the clay contents, and changes of this correlation depending on the methods used for the determination of

the clay content, w_F = flow limit, w_P = plasticity limit, $S_{2\mu}\%$ = clay content. Determinations made by 1. sedimentation method and 2. mineralogical analyses.

Fig. 4. Correlation between the plasticity limit and the active clay content. 4/A: Arrangement of all of the measured values according to the determination methods used. Data obtained with 1. sedimentation method and 2. mineralogical analysis. 4/B: Arrangement of the values determined by mineralogical analysis according to the types of clay minerals. 1. Illite. 2. Illite montmorillonite. 3. Ca montmorillonite. 4. Na montmorillonite. 5. Kaolinite. 6. Halloysite. 7. Mixed or not determined fine particles. 8. Keuper marl. 4/C: Arrangement of the values determined by sedimentation, according to the peptization methods. 1. British licence (with Na hexametaphosphate). 2. With Na_2CO_3 . 3. Without peptization.

Fig. 5. Correlation between the flow limit and the active clay content. Legends see Fig. 4.

Fig. 6. Relationships between plasticity index and flow limit calculated on the basis of clay content (assuming different percentages of errors in the basic data).

Fig. 7. Deviations of the measured points in the $I_p - w_F$ coordinate system.

Fig. 8. Effect of drying on the particle size distribution curve of bound aggregates. Ordinate: Weight %. Abscisse: Particle diameter (D), mm.

Über die Beziehungen des Tonmineralgehaltes und der Plastizitätskennwerte bei Böden

GY. KOVÁCS

Wissenschaftliches Forschungsinstitut für die Wasserwirtschaft, Budapest (Ungarn)

Zusammenfassung

Eine grosse Anzahl von Literaturangaben sowie die eigenen Messergebnisse sprechen dafür, dass sich die gesuchten Beziehungen anders gestalten, wenn der Tonmineralgehalt mit den Methoden der Mineralogie in einer an der oberen Grenze der Schlammfraktion abgetrennten Probe oder durch Sedimentation der $<2\mu$ -Fraktion bestimmt wurde. Die mit den beiden Methoden erhaltenen Werte nähern aber den echten Werten des aktiven Tongehaltes von entgegengesetzten Seiten. Der mit mineralogischen Methoden bestimmte Wert steht dem echten um so näher, je kleiner die Anzahl der sich irreversibel bindenden Teilchen ist; das Resultat der Sedimentation liegt hingegen immer unter dem Wert des aktiven Tongehaltes und ist nur in dem Fall ihm gleich, wenn die Peptisation der Suspension vollkommen durchgeführt wurde.

Es konnte auch bestätigt werden, dass alle Vorgänge, die durch die Wechselwirkungen des Wassers und der Bodenteilchen beeinflusst werden, auch vom aktiven Tonmineralgehalt abhängig sind. So besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem aktiven Tonmineralgehalt und der Fliess- bzw. Plastizitätsgrenze, und deshalb sind diese bodenphysikalischen Merkmale auch bei der Bestimmung des aktiven Tongehaltes ausschlaggebend.

Der aktive Tongehalt bedeutet eigentlich das zu dem 2μ -Wert der Abszisse der Korngrössenverteilungskurve gehörende Gewichtsprozent, so kann damit die durch Sedimentation bestimmte Kurve korrigiert werden. Die aktiven Korngrössen, abgelesen von der korrigierten Kurve, und die gemessenen Sickerungsfaktoren stimmen mit den theoretisch berechneten Werten überein. Dies beweist nicht nur die Richtigkeit der Definition und der vorgeschlagenen Bestimmungsmethode des aktiven Tongehaltes, sondern macht auch darauf aufmerksam, dass alle den aktiven Tongehalt modifizierenden Einwirkungen auch die Anzahl der irreversiblen Aggregate, und damit die physikalischen Eigenschaften der Tonfraktion, so z. B. seine Wasserdurchlässigkeit, verändern.

Aus den zur Bestimmung des Tongehaltes vorgeschlagenen Gleichungen kann ein der Casagrande-schen A-Linie ähnlicher, von ihr zahlenmässig nur gering abweichender Zusammenhang abgeleitet werden. Fast jede der aufgearbeiteten Daten – mit Ausnahme einiger besondere Tonminerale enthaltenden Proben – passt sich mit einer die erlaubte Fehlergrenze nicht überschreitenden Abweichung an die im $I_p - w_F$ -Koordinatensystem bestimmte Gerade an. Abweichungen zeigten sich beim Na-Montmorillonit, beim Halloysit und bei einigen wahrscheinlich amorphe Kolloide enthaltenden Tonarten.

Deshalb kann angenommen werden, dass die verschiedenen tonhaltigen Proben, unabhängig vom Typ der Tonminerale und deren chemischen Eigenschaften, mit den

gleichen physikalischen Kennwerten charakterisiert werden können, wenn sie im $I_P - w_F$ -System durch einen Punkt dargestellt werden können, welcher sich der A-Linie innerhalb einer gegebenen Fehlergrenze annähert. Diese Tonarten besitzen also — von ihrem aktiven Tongehalt abhängig — fast gleiche rheologische Eigenschaften, ihre Neigung zur Schwellung und Schrumpfung liegt einander recht nahe. Das spricht für einen allgemeinen Zusammenhang zwischen den erwähnten Kennwerten und den Plastizitätsdaten. Dies würde die Tonuntersuchung in grossem Masse vereinfachen, da statt komplizierter Messverfahren die physikalischen Eigenschaften dieser „sich normal verhaltenden“ Tonarten durch einfache Gleichungen leicht zu erhalten wären. Die Anwendung der komplizierten Messverfahren würde sich auf diese Weise nur auf die „vom normalen abweichenden“, ausserhalb der Zone der A-Linie liegenden Tonarten begrenzen. Diese Voraussetzung zu beweisen sind noch mehrere Messreihen durchzuführen.

Tab. 1/a. Tongehalt mit mineralogischer Methode gemessen und die dazu gehörenden Plastizitätswerte. (1) Benennung. (2) Tongehalt und Art der Tonmineralien: $S_{2\mu}\%$ und Verteilung der Tonmineralien in $\%$. M = Montmorillonit; I = Illit; K = Kaolinit; O = unbestimmte oder gemischte Tonmineralien. (3) Plastizitätsdaten, $\%$. (4) Literaturangaben.

Tab. 1/b. Tongehalt durch Sedimentation bestimmt und die dazu gehörenden Plastizitätswerte. (1) Benennung. (2) Tongehalt und — Art der Tonmineralien: $S_{2\mu}\%$ ohne und mit Peptisation. Bezeichnung der Tonmineralien s. Tab. 1/a. (3) Peptisationsverfahren. (4) Plastizitätsdaten, $\%$. (5) Literaturangaben.

Tab. 1/c. Mit Sedimentation bestimmter Tongehalt und Plastizitätsdaten von einem auf tonhaltigem Pannon-Meer-Sediment entstandenen braunen Waldboden (unbestimmte oder gemischte Tonmineralien). (1) Tongehalt. (2) Plastizitätsdaten, $\%$.

Tab. 1/d. Mit Sedimentation bestimmter Tongehalt und Plastizitätsdaten von einem auf flachländischem Infusionslöss entstandenen Alluvialboden. (1) Tongehalt ohne und mit Peptisation. (2) Plastizitätsdaten, $\%$.

Tab. 2. Vergleich der mit verschiedenen Methoden erhaltenen Werte des Tongehaltes. (1) Benennung. (2) Literaturangaben. (3) Plastizitätskennwert. Tongehalt (in $\%$) bestimmt mit mineralogischer Methode (4) und mit Sedimentation (5). (6) Aktiver Tongehalt, $\%$. A) Dem beschriebenen Zusammenhang entsprechende Proben. B) Von dem beschriebenen Zusammenhang abweichende Proben.

Tab. 3. Abänderungen in der maximalen Wasserkapazität und der Wasserdurchlässigkeit beim Trocknen. (1) Benennung. (2) Im natürlichen Zustand. (3) Nach starkem und wiederholtem Trocknen.

Abb. 1. Verteilung der auf Einwirkung der festen Wand in der Flüssigkeit auftretenden elektrostatischen Abstossungs- und Anziehungskräfte als Funktion der Entfernung von der Wand. 1) K = Dicke der Doppelschichte. a) Anziehungskraft. b) Abstossungskraft.

Abb. 2. Zusammenhang zwischen der Fliess- bzw. Plastizitätsgrenze und dem Tongehalt nach den Messungen von DUMBLETON und WEST (5). I. Montmorillonit. II. Kaolinit. III. Keuper-Margel. Mit der mineralogischen Methode (a) und mit Sedimentation b) bestimmt.

Abb. 3. Zusammenhang zwischen der Fliess- bzw. Plastizitätsgrenze und dem Tongehalt in Abhängigkeit von der Bestimmungsmethode des letzteren. w_F = Fliessgrenze. w_P = Plastizitätsgrenze. $S_{2\mu}\%$ = Tongehalt. Bestimmungsverfahren: 1. Sedimentation. 2. mineralogische Bestimmung.

Abb. 4. Zusammenhang zwischen der Plastizitätsgrenze und dem aktiven Tongehalt. *4/A:* Verteilung sämtlicher Messpunkte nach der Untersuchungsmethode. 1. Daten erhalten mit Sedimentation. 2. Daten erhalten mit der mineralogischen Methode. *1/B:* Verteilung der mit Hilfe der mineralogischen Methode gewonnenen Daten nach dem Typ der Tonmineralien. 1. Illit. 2. Illit-Montmorillonit. 3. Ca-Montmorillonit. 4. Na-Montmorillonit. 5. Kaolinit. 6. Halloysit. 7. Unbestimmte oder gemischte Tonmineralien. *8.* Keuper-Margel. *4/C:* Verteilung der mit Hilfe der Sedimentation erhaltenen Daten nach den Methoden der Peptisation. 1. Nach der englischen Norm (mit Na-hexametaphosphat). 2. Mit Na_2CO_3 . 3. Ohne Peptisation.

Abb. 5. Zusammenhang zwischen der Fliessgrenze und dem aktiven Tongehalt. Bezeichnungen s. Abb. 4.

Abb. 6. Der aufgrund des Tongehaltes berechnete Zusammenhang zwischen dem Plastizitätsindex und der Fliessgrenze mit verschiedenen Messfehlern (in $\%$).

Abb. 7. Streuung der Messpunkte im Koordinatensystem $I_P - w_F$.

Abb. 8. Einwirkung des Trockens auf die Korngrössenverteilungskurve bei aggregierter Körnung. Abszisse: Gewichtsprozent. Ordinate: Korndurchmesser, D, mm.

Зависимость между пластичностью почв и содержанием в них глинистых минералов

Д-р. КОВАЧ

Научно-исследовательский институт водного хозяйства, Будапешт (Венгрия)

Резюме

В настоящей статье, на основании данных зарубежной литературы и своих измерений, пришли к заключению, что пластичность почвы не в одинаковой степени зависит от содержания в ней глинистых частиц, если последние определяются минералогическим анализом из образцов, выделенных при верхнем пределе илстой фракции, или при выделении осаджением частичек размером 2μ . Наблюдалось, что величины полученные двумя методами, двухсторонне ограничивают величину содержания активной глины, которая тем больше приближается к величине измеренной минералогическим методом, чем меньше накопление частиц необратимо связанных друг с другом и, наоборот, величина полученная при выделении осаджением почвы всегда меньше величины содержания активной глины и только в том случае совпадает со значением последней, если в полной мере удается провести пептизацию суспензии.

Получило свое подтверждение и то, что все процессы, влияющие на взаимодействие воды и почвенных частичек, можно связать с содержанием в почве активной глины. Была доказана связь между содержанием активной глины, величиной текучести и пластичности. Поэтому значения упомянутых физических характеристик почвы могут быть использованы и для определения содержания активной глины.

Содержание активной глины есть процентный вес механических фракций размером 2μ на кривой распределения почвенных частиц, поэтому зная эту величину можно скорректировать кривую распределения частиц, определенных методом отмучивания. Связь между действительным размером частичек, определенным из модифицированной кривой и измеренной водопроницаемостью, соответствует теоретической зависимости. Это корректирует не только дефиницию содержания активной глины и предложенных методов, но обращает внимание и на то, что все факторы, которые изменяют число прочных агрегатов и содержание активной глины, изменяют физические свойства глины и через это водопроницаемость.

Из уравнений глины, можно вывести зависимости, подобные прямой А по Касагранде, по численности немного отличающиеся от нее. Установили, что почти все величины огромного числа обработанных данных приходятся на определенную прямую в системе координат $I_p - w_F$ или отклоняются от нее в пределах меньших, чем допустимая погрешность. Исключением являются только образцы, содержащие особые глинистые минералы. Отличаются особенностями своего поведения натриевый монтмориллонит, галлоизит, а также ет вещества, в которых, по всей вероятности, имеются аморфные коллоиды.

На основании вышесказанного можно предположить, что образцы с различным содержанием глины, независимо от типа глинистых минералов и их химического состава, можно характеризовать одним и теми же физическими свойствами, если в системе координат $I_p - w_F$ они могут быть обозначены такой точкой, которая приближается к прямой А в определенных пределах погрешности. То есть, эти глины характеризуются одинаковыми реологическими свойствами, поведением по отношению к воде, способностью к набуханию и усадке. Эти свойства зависят только от содержания активной глины. Таким образом можно определить общие зависимости между перечисленными свойствами и величинами пластичности. Это в значительной степени упрощает анализ глины, так как в этом случае сложные измерения заменяются простыми уравнениями, по которым определяются физические свойства «нормальных» глин. Сложные методы определения можно использовать для подробного изучения только «аномальных» глин, то-есть, глин выходящих за пределы зоны прямой А. Для подтверждения этого еще необходимо провести целый ряд измерений.

Табл. 1/а Содержание глины определенное минералогическим анализом и данные измерения пластичности. (1) Название материала. (2) Содержание глины и характер глинистых минералов. $S_{2\mu}\%$ и процентное распределение глинистых минералов. М = Монтмориллонит, I = Иллит, К = Каолинит, О = не определенный или смешанный глинистый минерал. (3) Пластичность в %. (4) Литературные данные.

Табл. 1/б Содержание глины, определенной методом отмучивания и данные измерения пластичности. (1) Название материала. (2) Содержание глины и характер глинистых минералов: $S_{2\mu}\%$ без пептизации и с пептизацией. Обозначение глинистых минералов смотри в таблице 1/а. (3) Метод пептизации. (4) Величины пластичности в %. (5) Ссылки на литературные данные.

Табл. 1/с Содержание глины, определенной методом отмучивания и величины пластичности бурой лесной почвы, образованной на глинистых пannonских морских отложениях (не определенные или смешанные глинистые минералы). (1) Содержание глины (2) Пластичность %.

Табл. 1/d Содержание глины, определенное методом отмучивания и величины пластичности аллювиальной почвы, образованной на промытых алфёльдских лёссах. (1) Содержание глины при пептизации и без пептизации. (2) Величины пластичности, %.

Табл. 2. Сравнение величин содержания глины, определенное различными методами. (1) Название материала. (2) Ссылки на литературные данные. (3) Характер пластичности. (4) Содержание глины в % при минералогическом анализе и (5) определенное методом отмучивания (6) Содержание активной глины в %. А) Материалы соответствующие найденным зависимостям. В) Материалы не удовлетворяющие найденным зависимостям.

Табл. 3. Влияние высушивания на максимальную молекулярную влагоемкость почвы и водопроницаемость. (1) Название материала. (2) Естественное состояние. (3) После сильного и повторного высушивания.

Рис. 1. Распределение электростатических сил отталкивания и притяжения, возникающих под влиянием стенок сосуда на жидкость, в зависимости от удаленности от стенок сосуда, изображенное в виде энергетической диаграммы в интегральной форме. 1) = мощность двойного слоя. а) Силы притяжения. б) Силы отталкивания.

Рис. 2. Связь границ текучести и пластичности с содержанием глины по измерениям Думблетон и Вест (5). I. Монтмориллонит. II. Каолинит. III. Кейперовый мергель. а) Определенные методом минералогического анализа и б) методом отмучивания.

Рис. 3. Связь границ текучести и пластичности с содержанием глины и в зависимости от её изменения при определении различными методами. w_F = граница текучести. w_P = граница пластичности. $S_{2\mu}\%$ = содержание глины. Методы: 1. Отмучивания. 2. Минералогический анализ.

Рис. 4. Связь между границей пластичности и содержанием активной глины. 4/A: Распределение точек всех проведенных измерений согласно методу определения. 1. Данные полученные методом отмучивания. 2 Данные минералогического анализа. 4/B: Распределение величин, полученных при минералогическом анализе, в зависимости от типа глинистых минералов. 1. Иллит. 2. Иллит монтмориллонит. 3. Са монтмориллонит. 4. На монтмориллонит. 5. Каолинит. 6. Галлозит. 7. Смешанные или неопределенного типа тонкие частички. 8. Кейперовый мергель. 4/C: Распределение величин, полученных методом отмучивания в зависимости от способа пептизации. 1. Английский метод (Na гексометафосфат). 2. Na_2CO_3 . 3. Без пептизации.

Рис. 5. Зависимость между границей текучести и содержанием активной глины. Обозначения смотри на рисунке 4.

Рис. 6. Связь индекса пластичности с границей текучести, рассчитанные на основе содержания глины, предполагая различную процентную погрешность основных данных.

Рис. 7. Рассеивание точек измерения в системе координат.

Рис. 8. Влияние высушивания на кривую распределения частичек плотных агломератов. Вертикальная ось: весовые проценты. Горизонтальная ось: диаметр частичек в мм.